



**Joaquim João da Silva Horta**

Licenciatura em Ciências de Engenharia Biomédica

**Desenvolvimento de um Sistema para  
Monitorização de Dose de Radiação em  
Cockpit de Avião**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Biomédica

Orientador: Paulo António Ribeiro, Professor Auxiliar, FCT-UNL  
Co-orientador: Pedro Tavares, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente:	Prof. Doutor Mário António de Basto Forjaz Secca
Arguente:	Prof. Doutor José Luís Constantino Ferreira
Vogais:	Prof. Doutor Paulo António Martins Ferreira Ribeiro
	Prof. Doutor Pedro António de Brito Tavares



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Outubro 2013**





**Joaquim João da Silva Horta**

Licenciatura em Ciências de Engenharia Biomédica

## **Desenvolvimento de um Sistema para Monitorização de Dose de Radiação em Cockpit de Avião**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Biomédica

Orientador: Paulo António Ribeiro, Professor Auxiliar, FCT-UNL  
Co-orientador: Pedro Tavares, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente:	Prof. Doutor Mário António de Basto Forjaz Secca
Arguente:	Prof. Doutor José Luís Constantino Ferreira
Vogais:	Prof. Doutor Paulo António Martins Ferreira Ribeiro
	Prof. Doutor Pedro António de Brito Tavares



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Outubro 2013**



# Copyright

Copyright©2013 - Todos os direitos reservados. Joaquim João da Silva Horta.  
Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*"Obstacles are those frightful things you see when you take your eyes off your goal."  
Henry Ford*





# Agradecimentos

Ao Professor Mário Secca pela coordenação e criação deste Curso e por sempre se mostrar disposto a ajudar.

Aos meus orientadores, Professor Paulo Ribeiro e Professor Pedro Tavares, pela oportunidade de contribuir para este projecto.

Ao Filipe Folgosa pelo apoio prestado e pela disponibilidade.

A todos os amigos que fiz durante o percurso académico, em especial ao que me acompanharam desde o início e sempre me apoiaram: Leonardo Martins, João Santinha, Hugo Pereira, Fernando Mota, Sara Gil, Pedro Cascalho, Bernardo Azevedo, Nuno Fernandes, Rita Carvalho, Ana Arruda, Ana Frazão, Sérgio Mendes, Luís Mendes, Pedro Martins, João Martins e Mafalda Fernandes. Ao Santinha pela contribuição mais activa para esta tese.

Um agradecimento especial ao Leonardo por todo o apoio prestado, pela motivação e paciência.

À Cristina pelo apoio e disponibilidade e por todas as correcções ortográficas.

À Filipa por todo o amor, apoio, disponibilidade, paciência e motivação.

Aos meus pais pelo apoio e por me proporcionarem esta oportunidade estudar fora. À restante família pelo apoio.

A todos os que contribuíram de alguma forma para esta tese.



# Resumo

Em virtude do transporte aéreo se ter generalizado nas últimas décadas, com a consequente multiplicação do número de voos, os pilotos e a restante tripulação de linha aérea estão cada vez mais expostos à radiação cósmica como resultado do maior tempo de permanência no cockpit do avião. Torna-se, assim, cada vez mais relevante a avaliação de forma precisa da exposição desta população à radiação cósmica bem como a sua correlação com problemas de saúde que apresentam.

Actualmente a exposição à radiação, a que a tripulação está sujeita, é estimada através de cálculos baseados em simulações Monte Carlo da interacção e transporte de partículas na matéria. A presente dissertação de mestrado insere-se num projecto mais vasto cujo objectivo é o registo, em base de dados, da exposição de uma tripulação de linha aérea à radiação cósmica.

Nesta conformidade, foi construído um protótipo do sistema ARMOR ONE (*Aircraft Environment Monitoring System*), que permite identificar cada membro da tripulação mediante cartão de identificação pessoal, e ainda, medir e registar os níveis de radiação a que cada membro está exposto durante um voo. No final do voo, esse registo pode ser adicionado a uma base de dados com a informação relativa a cada voo e a cada tripulante, resultando num registo experimental de fácil acesso das doses de radiação a que cada tripulante esteve exposto num determinado período de tempo.

A construção deste protótipo teve em conta a sua portabilidade, nomeadamente, no que diz respeito a tamanho e peso, robustez e facilidade de controlo através do desenvolvimento de uma interface gráfica de utilizador em *LabVIEW*. Foram realizados testes de forma a mostrar a capacidade do protótipo em medir a radiação durante o tempo de um voo médio e que é capaz de responder a diferentes intensidades de radiação.

Palavras Chave: dosimetria, detecção de radiação, radiação cósmica, pilotos de linha aérea, exposição ocupacional.



# Abstract

Aerial transportation has been gaining significant importance in the last decades, with an increasing number of flights; the pilots and the rest of the aircrew are increasingly exposed to cosmic radiation because they remain in the aircraft's cockpit for extensive periods of time. Studying the effects of the pilot's exposure to cosmic radiation and the associated health problems is a relevant subject that needs to be solved with higher precision.

Nowadays, Monte Carlo-based simulations for interaction and transport of particles in matter are used to estimate the aircrew's exposure to radiation. The present dissertation is involved in a broader project that aims to register in a database the cosmic radiation exposure of an aircrew.

According to these objectives, a prototype of the ARMOR ONE (Aircraft Environment Monitoring System) system was built with the ability to identify each crew member using individual cards and the ability to measure and register the radiation levels of exposure during a specific flight. At the end of the flight, the registration can be added to a database that contains the information from each flight and each crewmember. The database keeps an easy access of the records of the radiation doses that each crewmember was exposed to in a specific time period.

The assembling of this prototype accounted for its robustness and portability, namely, in its size and weight but also, a graphical user interface was developed in LabVIEW for control usage purposes. A series of tests were performed to show that the prototype is capable of measuring the radiation levels during the typical time of flight and that it is able to detect various intensity levels of radiation.

Keywords: dosimetry, radiation detection, cosmic radiation, airline pilots, occupational exposure.



# Índice

Copyright.....	i
Agradecimentos .....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Índice de Figuras .....	xv
Índice de Tabelas.....	xvii
Acrónimos.....	xix
Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1 Introdução geral.....	1
1.2 Enquadramento e Estado da arte.....	1
1.3 Objectivos do trabalho.....	3
1.4 Estrutura da dissertação .....	4
Capítulo 2 - Radiações.....	5
2.1 Radiação Ionizante .....	6
2.2 Radiação Cósmica .....	6
2.2.1 Radiação cósmica galáctica .....	7
2.2.2 Radiação cósmica solar .....	8
Capítulo 3 - Grandezas Dosimétricas e Protecção Radiológica.....	9
3.1 Grandezas físicas básicas.....	10
3.1.1 Fluência .....	10
3.1.2 <i>Kerma</i> .....	11
3.1.3 Dose absorvida .....	12
3.2 Grandezas de protecção .....	12
3.2.1 Dose equivalente num órgão ou tecido.....	13
3.2.2 Dose efectiva .....	13
3.3 Grandezas operacionais .....	14

3.3.1	Grandezas operacionais para monitorização de área .....	14
3.3.2	Grandezas operacionais para monitorização individual.....	14
<b>3.4</b>	<b>Recomendações da ICRP .....</b>	<b>15</b>
3.4.1	Princípios da protecção radiológica.....	16
3.4.2	Limites de dose.....	16
<b>3.5</b>	<b>Legislação Portuguesa .....</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo 4</b>	<b>- Desenvolvimento do protótipo.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>O Sistema.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Descrição dos componentes do protótipo .....</b>	<b>20</b>
4.2.1	Unidade de Processamento .....	20
4.2.2	Leitor de Cartões de Proximidade.....	22
4.2.3	Detector de Radiação .....	23
4.2.4	Hub USB.....	24
<b>4.3</b>	<b>Montagem do Protótipo.....</b>	<b>25</b>
4.3.1	Preparação da caixa.....	25
4.3.2	Instalação dos componentes na caixa.....	27
4.3.3	Alimentação do Sistema.....	27
<b>4.4</b>	<b>Aspecto e características técnicas do protótipo.....</b>	<b>29</b>
<b>Capítulo 5</b>	<b>- Programa de Controlo.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Diagrama de blocos.....</b>	<b>32</b>
5.1.1	Comunicação.....	32
5.1.2	Identificação.....	34
5.1.3	Botão “Start/Stop” .....	36
5.1.4	Botão “Save As...” .....	37
5.1.5	Medição da Radiação.....	38
5.1.6	Gravação dos dados.....	39
<b>5.2</b>	<b>Interface gráfica .....</b>	<b>41</b>
<b>Capítulo 6</b>	<b>- Resultados e Discussão.....</b>	<b>45</b>
<b>6.1</b>	<b>Influência da posição nas medições.....</b>	<b>45</b>



6.2 Funcionamento e desempenho do protótipo .....	49
Capítulo 7 - Conclusões e Perspectivas Futuras .....	53
Referências Bibliográficas .....	55
Anexo A .....	59
A.1 Factores de ponderação da radiação, $w_R$ , segundo as recomendações da ICRP [39] ..	59
A.2 Factores de ponderação tecidual, $w_T$ , segundo as recomendações da ICRP [39] .....	60
Anexo B - Protocolo de comunicação do leitor de cartões de proximidade.....	61
Apêndice C.....	63
C.1 Segmento de programação do Sub-VI "ID-NAME" .....	63
C.2 Exemplo do ficheiro gerado pelo programa desenvolvido .....	65



# Índice de Figuras

<i>Figura 2.1: Classificação da radiação, adaptado de [35].....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2.2: Variação da taxa de equivalente de dose ambiente com a altitude do voo em condições de actividade solar máxima e mínima e na região do equador e polar (cálculos feitos com o programa de simulação EPCARD), adaptado de [19].....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4.1: Diagrama de blocos do sistema ARMOR ONE (blocos a preto – contemplados no primeiro protótipo; blocos a vermelho – não contemplados no primeiro protótipo) .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4.2: Tablet PC Viewsonic Viewpad 10 usado no protótipo.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4.3: 1 - Leitor de cartões de proximidade Promag PCR300U 2 - cartão de proximidade de 125kHz.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4.4: (a) Contador Geiger GM-10 da Black Cat Systems (b) Circuito típico de um contador Geiger, adaptado de [44].....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4.5: Hub USB Sweex de sete portas usado no protótipo .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4.6: Alterações efectuadas: (a) no tampo da caixa (b) na lateral da caixa 1 – abertura para o ecrã do tablet PC; 2 – abertura para os botões do tablet PC; 3 – abertura para o hub USB; 4 – abertura para os cartões de proximidade.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4.7: Vista interior do protótipo: 1 – leitor de cartões, 2 – detector de radiação, 3 – hub USB, .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4.8: Alimentação do sistema 1 – tomada externa; 2 – interruptor geral; 3 – fusível F1; 4 – entrada da alimentação; 5 – fusível F2; 6 – fusível F3.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.9: Esquema electrónico da alimentação do sistema .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.10: Primeiro protótipo do sistema ARMOR ONE: (a) vista geral; (b) vista de topo; 1 – hub USB; 2 – entrada para cartões de proximidade; 3 – ecrã táctil; 4 – botão de energia do tablet PC; 5 – tomada externa; 6 – entrada de alimentação com interruptor geral; 7- pega.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5.1: Programa de controlo; Configuração da porta série (a) Medidor de radiação (b) Leitor de cartões de proximidade.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5.2: Programa de controlo; Segmento de programação do leitor de cartões.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5.3: Programa de controlo; Segmento de programação do botão “Start/Stop”.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 5.4: Programa de controlo; Segmento de programação do botão “Save As” .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 5.5: Programa de controlo; Segmento de programação do medidor de radiação .....</i>	<i>39</i>

<i>Figura 5.6: Programa de controlo; Segmento de programação da gravação dos dados .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 5.7: Programa de controlo; Interface gráfica com as funcionalidades desactivadas.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5.8: Programa de controlo; Interface gráfica com as funcionalidades activadas .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5.9: Programa de controlo; Informações do voo: (a) Selecção de aeronave (b) Número do voo (c) Comentários.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.10: Programa de controlo; Janela da opção "Save As..." .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.11: Programa de controlo; Botão "Start/Stop" (a) Botão Start, aquisição desligada (b) Botão Stop, aquisição ligada .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.12: Programa de controlo; Mensagem apresentada quando se pressiona o botão "Stop".....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.13: Programa de controlo; Gráfico da Taxa de Dose Equivalente e indicador da Dose.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 6.1: Ilustração das posições usadas no teste da influência da posição nas medições: 1 – Afastado da fonte radioactiva; 2 – Na vertical; 3 – Na horizontal, ecrã para cima, tomada para trás; 4 – Na horizontal, ecrã para baixo, tomada para trás; 5 – Na horizontal, ecrã para cima, tomada para a frente; 6 – Na vertical numa posição mais próximo da fonte radioactiva.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 6.2: Resultados obtidos no teste da variação da posição do protótipo .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 6.3: Montagem efectuada para o teste de funcionamento do protótipo a) com 2 folhas de chumbo; b) com apenas uma folha de chumbo; c) sem folha de chumbo. 1 – Protótipo; 2 – fonte radioactiva <sup>57</sup>Co protegida por chumbo; 3 – folha de chumbo.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 6.4: Resultados obtidos no teste de funcionamento do protótipo.....</i>	<i>51</i>

# Índice de Tabelas

<i>Tabela 3.1: Limites de dose recomendados pela ICRP, adaptado de [39] .....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 4.1: Características principais do tablet PC usado no protótipo .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 4.2: Características principais do leitor de cartões de proximidade usado no protótipo .</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 4.3: Características do detector de radiação usado.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 4.4: Características do hub USB usado.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 4.5: Características da caixa metálica usada no protótipo.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 4.6: Características técnicas do primeiro protótipo do sistema ARMOR ONE.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 6.1: Média dos valores da taxa de dose equivalente e Factor de Fano para as diferentes posições .....</i>	<i>48</i>



# Acrónimos

<b>ARMOR ONE</b>	<i>Aircraft Environment Monitoring System</i>
<b>bps</b>	bits por segundo
<b>CEFITEC</b>	Centro de Física e Investigação Tecnológica
<b>CPM</b>	Contagens Por Minuto
<b>DC</b>	<i>Direct Current</i>
<b>DDR</b>	<i>Double Data Rate</i>
<b>FCT - UNL</b>	Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa
<b>GB</b>	<i>Gigabyte</i>
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i>
<b>ICRP</b>	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
<b>ICRU</b>	<i>International Commission on Radiation Units &amp; Measurements</i>
<b>INAC</b>	Instituto Nacional de Aviação Civil
<b>PC</b>	<i>Personal Computer</i>
<b>px</b>	<i>pixels</i>
<b>RFID</b>	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
<b>SSD</b>	<i>Solid-State Drive</i>
<b>TEPC</b>	<i>Tissue Equivalent Proportional Counter</i>
<b>TLD</b>	<i>ThermoLuminescent Dosimeter</i>
<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i>
<b>VGA</b>	<i>Video Graphics Array</i>
<b>VI</b>	<i>Virtual Instrument</i>
<b>VISA</b>	<i>Virtual Instrument Software Architecture</i>





## Capítulo 1

# Introdução

### 1.1 Introdução geral

O presente trabalho foi realizado no âmbito da tese de mestrado no curso de Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), tendo sido desenvolvida na Linha de Sistemas Moleculares Funcionais (Linha 5) do Centro de Física e Investigação Tecnológica (CEFITEC), em colaboração com o laboratório de Biofísica Molecular da FCT-UNL, parte do grupo de investigação de Bioquímica e Biofísica do REQUIMTE (Rede Química e Tecnologia).

O tema do trabalho surgiu integrado num projecto de Investigação e Desenvolvimento aprovado pela Fundação para a Ciências e Tecnologia denominado “Ferramentas analíticas para o estudo do efeito da radiação cósmica em pilotos de linha aérea”. Este projecto conta com a participação directa de pilotos de linha aérea, membros da Associação Portuguesa dos Pilotos de Linha Aérea, APPLA, e com a colaboração do Instituto Nacional de Aviação Civil (INAC).

### 1.2 Enquadramento e Estado da arte

O avião é actualmente um meio de transporte em franca expansão, sendo que, o tráfego aéreo tem duplicado a cada 15 anos e é esperado que duplique novamente nos próximos 15

anos [1]. Como tal, a segurança deste meio de transporte tornou-se uma prioridade. Porém, se é relativamente simples assegurar a segurança do avião, é bem mais difícil controlar as falhas de origem humana. Estas estão, muitas vezes relacionadas com as capacidades físicas/saúde dos pilotos, sendo a exposição às radiações cósmicas considerada como uma das origens do risco [2, 3].

Têm sido publicados diversos estudos sobre a exposição à radiação cósmica em tripulações de diversas companhias aéreas e em diferentes rotas utilizando detectores de radiação e programas de cálculo de dose [4 - 11]. O cálculo das doses a que as tripulações estão sujeitas, na maior parte dos estudos, é feito com o auxílio de programas de computador que calculam a dose tendo em consideração valores experimentais conhecidos e os dados de cada voo [2, 12, 13, 14]. Os programas de cálculo mais usados são o EPCARD [15], CARI [16], PC-AIRE [17] e SIEVERT [18]. Estes programas usam modelos matemáticos da interacção e transporte de partículas na matéria e simulações Monte Carlo para estimar a dose num evento.

Devido à utilização corrente deste tipo de programas foram feitas comparações entre valores das medidas nos voos e os valores dos programas de cálculo, sendo que, alguns estudos consideram os valores razoavelmente coincidentes [14, 19, 20]. No entanto, alguns destes programas mostraram limitações uma vez que não contemplavam os efeitos: das condições solares extremas, das variações de curto prazo na intensidade dos raios cósmicos e das mudanças no campo magnético terrestre [21].

Relativamente às medições directas efectuadas em voos, têm sido usados diversos tipos de detectores, procurando sempre medidas mais correctas. Nalguns casos, investigadores têm recorrido a dosímetros termoluminescentes (TLD) para avaliar a dose de radiação cósmica [6, 8]. Os contadores do tipo TEPC (*Tissue Equivalent Proportional Counter*) têm sido os mais usados actualmente, pois fornecem uma boa estimativa do equivalente de dose ambiente [11, 13, 14, 22]. Contadores *Geiger-Müller* também são usados para fornecer a dose equivalente ambiente resultante das partículas ionizantes directas [5, 10, 23].

A preocupação principal que advém da exposição dos tripulantes às radiações cósmicas é o possível risco, a longo prazo, de doenças do foro oncológico induzidas pela radiação e, no caso das tripulantes grávidas, possíveis efeitos prejudiciais no feto [24]. A tentativa de relacionar a exposição, por parte dos pilotos, à radiação cósmica com possíveis patologias como o cancro tem gerado variados estudos nos últimos anos [25 - 33]. Contudo muitos destes estudos não se têm revelado conclusivos, pelo que não foi possível encontrar uma

relação directa entre a exposição à radiação e o aparecimento de patologias oncológicas nos pilotos. De facto, alguns destes estudos apontam para factores do estilo de vida dos pilotos, como as horas de trabalho irregulares, a má alimentação e as alterações do ritmo circadiano, como potenciadores do risco de cancro [26, 32, 33]. As falhas destes estudos podem estar ligadas à dificuldade na escolha de variáveis robustas, de grupos de controlo fidedignos, dos voos estudados ou ainda de outros factores.

É neste panorama que surge o projecto “Ferramentas analíticas para o estudo do efeito da radiação cósmica em pilotos de linha aérea”, onde são apresentadas medidas sistemáticas com o objectivo de obter algumas soluções no que diz respeito à vigilância adequada dos pilotos de aviação, propondo-se a:

- i) Estimar os níveis de radiação a que são expostos os pilotos de linha aérea e correlacioná-los com as simulações realizadas por computador que actualmente são o único método para estimar esses níveis;
- ii) Avaliar o dano ocupacional em pilotos de linha aérea, não só através da utilização de análises clínicas, mas também recorrendo a um conjunto de marcadores biológicos;
- iii) Desenvolver e implementar um conjunto de exames médicos passíveis de serem utilizados como avaliação de rotina;
- iv) Reunir um conjunto de informações que possa oferecer a pilotos, companhias aéreas, governos e outras instituições a possibilidade de monitorizar os efeitos das radiações cósmicas durante um voo.

### **1.3 Objectivos do trabalho**

O objectivo deste trabalho é o de construir um protótipo capaz de monitorizar os níveis de radiação no cockpit e a dose a que os seus tripulantes estão expostos durante um voo comercial.

O protótipo deverá incluir um medidor de radiação, um leitor de cartões para identificação do utilizador/tripulante e ainda uma unidade de processamento (computador) para utilização por parte do utilizador e aquisição dos dados. A interligação de todos estes componentes numa só unidade requer trabalho mecânico, montagem eléctrica para unir as várias peças e ainda o desenvolvimento de um programa informático de controlo do protótipo.

A construção deste protótipo deverá ter em conta a sua portabilidade e robustez, de modo a ser capaz de ser transportado pelos tripulantes até ao cockpit, e também o seu tamanho, de modo a não ocupar um espaço significativo no cockpit, que é lugar com bastantes restrições a nível de espaço.

O programa deverá controlar a actuação do protótipo através de uma interface gráfica e a aquisição de dados, que são guardados em ficheiros de texto que podem ser enviados para uma base de dados que contenha a informação de todos os voos e de todos os tripulantes e os níveis de radiação a que estes foram expostos em cada voo que realizaram.

O programa de controlo será também utilizado para auxiliar a realização dos testes de fiabilidade do protótipo, especificamente, este deverá mostrar que é capaz de medir os níveis de radiação durante o tempo característico de um voo e que é capaz de responder a diferentes intensidades de radiação.

## **1.4 Estrutura da dissertação**

No primeiro Capítulo, é feita uma introdução ao trabalho apresentando o âmbito em que se insere, bem como o enquadramento e estado da arte. São também apresentados os objectivos principais deste trabalho.

No Capítulo 2, introduz-se o tema das radiações, contemplando as radiações ionizantes e as radiações cósmicas.

No Capítulo 3, são introduzidas as grandezas dosimétricas, apresentadas as principais recomendações da ICRP e a legislação portuguesa referente à protecção radiológica.

O Capítulo 4 é dedicado ao desenvolvimento do protótipo, contemplando uma apresentação do sistema, a descrição detalhada dos componentes que constituem o protótipo, as etapas da montagem do protótipo e, por fim, o seu aspecto final.

No Capítulo 5, é apresentado a interface gráfica do programa de controlo desenvolvido e o código de programação respectivo.

No Capítulo 6, são apresentados os resultados dos testes realizados ao protótipo e a respectiva análise e discussão.

No Capítulo 7, são exibidas as conclusões deste trabalho e as perspectivas futuras do sistema.

## Capítulo 2

# Radiações

O termo radiação é usado para descrever a propagação de energia de uma fonte radioactiva para outro meio. Esta transferência pode tomar a forma de um feixe de partículas ou de ondas electromagnéticas [34].

A radiação pode ser classificada em duas categorias: não ionizante e ionizante (Figura 2.1), dependendo da sua capacidade de ionização da matéria. O potencial de ionização de um átomo é a energia mínima necessária para ionizar um átomo (remover um electrão de um átomo ou molécula) [35]. Mais detalhadamente temos que:

- A **radiação não ionizante** não é capaz de ionizar a matéria porque a sua energia é mais baixa que o potencial de ionização dos átomos ou moléculas do material absorvedor [35]. As ondas rádio, as microondas, os infravermelhos, a luz visível e a luz ultravioleta são exemplos de radiação electromagnética não ionizante[34].
- A **radiação ionizante** é capaz de ionizar a matéria de forma directa ou indirecta, visto que a sua energia excede o potencial de ionização da matéria [35]. Este tipo de radiação será apresentado mais detalhadamente no próximo subcapítulo.

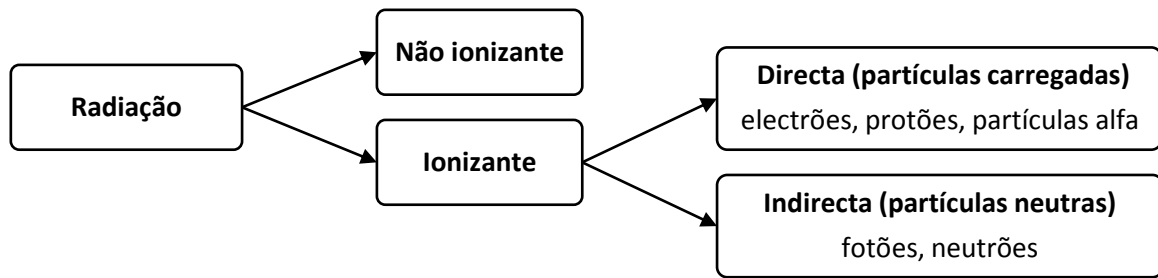


Figura 2.1: Classificação da radiação, adaptado de [35]

## 2.1 Radiação Ionizante

A radiação ionizante pode ser dividida em duas categorias, de acordo com a forma como ocorre a ionização do material [35]:

- **Radiação ionizante directa:** diz respeito às partículas carregadas (electrões, protões, partículas alfa, iões pesados) que depositam directamente a sua energia no meio, com recurso a interacções de Coulomb entre as partículas ionizadas e os átomos do material.
- **Radiação ionizante indirecta:** compreende partículas neutras (fotões e neutrões) que depositam a sua energia no meio, num processo de dois passos. No primeiro passo a deposição de energia provoca libertação de partículas carregadas no meio (os fotões provocam a libertação de electrões ou positrões e os neutrões provocam a libertação de protões ou iões pesados). No segundo passo, as partículas carregadas geradas depositam, directamente, a sua energia no material através de interacções de Coulomb com os átomos do material.

Durante um voo comercial, a altitudes típicas, a radiação predominante no ambiente do cockpit é a radiação cósmica.

## 2.2 Radiação Cósmica

A terra é constantemente bombardeada por radiação ionizante de alta energia proveniente do espaço sideral. A intensidade da radiação cósmica é parcialmente atenuada pelo campo magnético Terrestre e ainda pelos campos magnéticos associados aos ventos solares provenientes do Sol [19].

A radiação cósmica que chega até à atmosfera da Terra, à qual estão expostos os membros das tripulações de aviões, tem duas origens diferentes: as partículas energéticas oriundas do Sol e partículas oriundas do Universo em geral (conhecida por radiação cósmica galáctica) [19].

### **2.2.1 Radiação cósmica galáctica**

A radiação cósmica galáctica representa a maior parte da radiação presente na atmosfera da Terra, com a excepção de eventos raros como as erupções solares. Esta radiação é proveniente de fontes que se encontram fora do nosso sistema solar, sendo constituída principalmente por protões (aproximadamente 85%) e iões de hélio (12%), e por uma pequena percentagem de electrões (2%) e iões pesados (1%). Esta radiação incide continuamente na Terra e de uma forma isotrópica [36].

A radiação cósmica galáctica que chega até à Terra interage com a atmosfera produzindo partículas secundárias (radiação cósmica secundária), e estas, por sua vez, interagem sucessivamente até perderem a sua energia. Desta forma, a intensidade desta radiação tem uma relação directa com a altura a que é medida, sendo então superior ao nível das alturas típicas de um voo e inferior ao nível do mar[19].

A dose proveniente da radiação cósmica galáctica varia, não só com a altitude (Figura 2.2), mas também com as coordenadas geomagnéticas (longitude e latitude) e com a actividade solar. Como podemos observar na Figura 2.2, a dose é maior junto aos pólos terrestres e menor na zona do equador. A radiação cósmica galáctica corresponde a 95% da radiação que os tripulantes de um avião estão expostos e é praticamente constante. Esta pode ser prevista e simulada, visto que, apesar do seu carácter estocástico, existem vários modelos que conseguem descrever com bastante exactidão esses processos físicos[19].

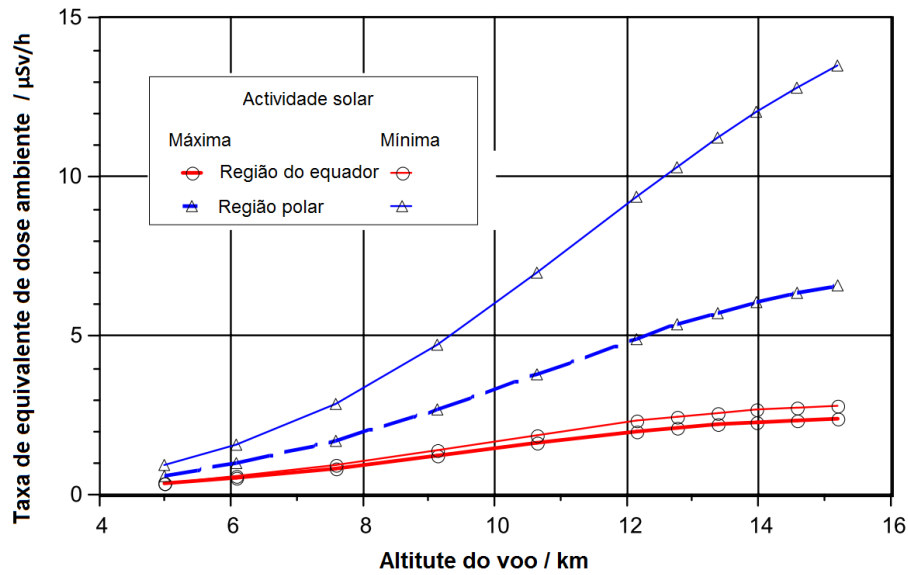


Figura 2.2: Variação da taxa de equivalente de dose ambiente com a altitude do voo em condições de actividade solar máxima e mínima e na região do equador e polar (cálculos feitos com o programa de simulação EPCARD), adaptado de [19].

### 2.2.2 Radiação cósmica solar

Partículas energéticas provenientes do Sol também contribuem para a exposição à radiação por parte dos tripulantes de aviões, através de eventos muito raros originados pela expulsão de matéria solar, como as erupções solares, as ejeções coronais de massa ou ainda os ventos solares. Durante estes eventos, a Terra recebe um fluxo constante de um grande número de partículas como prótons de alta energia, partículas alfa e electrões, sendo observado um grande aumento da fluência de partículas a altitudes típicas de um voo comercial [19].

Como foi referido anteriormente, estes eventos são raros, sendo que, em média, apenas um evento por ano causa um aumento da dose nas altitudes típicas da aviação (para voos comerciais rondam os 10000 metros). O aumento da dose relacionada com estes eventos é muito rápido (alguns minutos) e podem durar desde poucas horas até a alguns dias. Estes eventos podem ser observados com monitores de neutrões ao nível da superfície terrestre. Visto que a previsão destes eventos não é possível até ao momento, a estimativa da dose a que os tripulantes foram expostos apenas pode ser feita *a posteriori*, principalmente através de um grande número de monitores de neutrões espalhados pela superfície terrestre e visto que a principal causa da fluência de neutrões é a radiação cósmica solar [19].



## Capítulo 3

# Grandezas Dosimétricas e Protecção Radiológica

A dosimetria da radiação é o ramo da ciência que tenta relacionar quantitativamente medidas específicas feitas num campo de radiação com alterações físicas, químicas e/ou biológicas que a radiação provoca num determinado alvo [37].

A dosimetria é essencial para quantificar a incidência de diversas modificações biológicas em função da quantidade de radiação recebida (relações de dose-efeito), para comparar diferentes experiências, para monitorizar a exposição à radiação de indivíduos, e para a vigilância do meio ambiente [37].

Alguns anos após a descoberta dos raios-X, foi reconhecida a necessidade de se criarem normas internacionalmente aceites para as unidades e medições de exposição relativas à radiação ionizante. A nível internacional, a Comissão Internacional de Unidades e Medidas de Radiação (ou *International Commission on Radiation Units & Measurements*) (ICRU) e a Comissão Internacional de Protecção Radiológica (ou *International Commission on Radiological Protection*) (ICRP) desempenham um papel importante na definição dos principais conceitos, grandezas e unidades usados na protecção radiológica[38].

O sistema actualmente recomendado pelo ICRU e ICRP relativo às grandezas e unidades em protecção radiológica pode ser descrito como uma hierarquia de grandezas composto por

grandezas físicas básicas (incluindo fluência, *kerma* e dose absorvida), grandezas de protecção (dose eficaz, doses de órgãos) e grandezas operacionais (equivalente de dose ambiente, equivalente de dose direcciona e equivalente de dose individual)[38].

### 3.1 Grandezas físicas básicas

A protecção radiológica tem o objectivo geral de proteger os seres humanos e o ambiente dos perigos das radiações ionizantes após exposições externas (fonte de radiação externa ao organismo) e também internas (fonte de radiação que pode ter sido ingerida, inalada ou absorvida pela pele intacta ou ferida). Isso exige uma descrição quantitativa dos campos de radiação e da exposição do corpo humano[39].

As grandezas físicas básicas são usadas para caracterizar os campos de radiação e podem ser definidas em qualquer ponto desses campos. Porém, estas grandezas não são suficientes para estimar o risco causado para uma exposição, visto que são necessárias informações relativas ao tipo de radiação, à respectiva distribuição de energia ao longo do tempo e à radiosensibilidade dos tecidos e órgão expostos[39].

#### 3.1.1 Fluência

A fluência,  $\Phi$ , é definida por:

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (3.1)$$

Onde,  $dN$ , corresponde ao número de partículas que incidem sobre uma pequena esfera de secção transversal  $da$  [39]. A unidade SI da fluência de partículas é  $m^{-2}$ .

A fluência é independente da direcção de distribuição das partículas que atravessam a esfera. A fluência pode ser expressa, alternativamente, em termos do comprimento das trajectórias das partículas que atravessam um pequeno volume  $dV$ . Nesta conformidade a fluência,  $\Phi$ , pode ser dada por:

$$\Phi = \frac{dl}{dV} \quad (3.2)$$

Onde  $dl$  é a soma dos comprimentos das trajectórias ao longo de um volume  $dV$ .

Ao derivar-se a fluência em ordem ao tempo, obtém-se a taxa de fluência ou densidade de fluxo:

$$\dot{\Phi} = \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.3)$$

A unidade SI da densidade de fluxo é  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Embora a fluência seja uma grandeza importante na descrição de campos de radiação, não é realmente adequada e simples o suficiente para o uso geral em protecção radiológica e na definição de limites. Isto porque, a fluência necessita sempre de especificações adicionais em relação à partícula e à sua energia, sendo a sua correlação com os danos causados de avaliação complexa.

### 3.1.2 *Kerma*

*Kerma* é o acrónimo para energia cinética libertada num meio por unidade de massa (do inglês “*kinetic energy released per unit mass*”). É definido como a energia cinética total de todas as partículas carregadas libertadas por partículas não carregadas por unidade de massa do material de destino [40].

A grandeza *kerma*,  $K$ , representa a soma das energias cinéticas de todas as partículas carregadas libertadas pelas partículas sem carga,  $dE_{tr}$ , por unidade de massa  $dm$ , de um determinado material de acordo com a seguinte expressão [39]:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (3.4)$$

A unidade SI da grandeza *kerma* é  $\text{J kg}^{-1}$  que também pode ser chamada de gray (Gy).

A grandeza *kerma* não é independente do tipo de material do alvo, por isso, deve ser sempre definida em relação ao meio em questão.

A energia contida na radiação incidente é dissipada pelo alvo em duas componentes principais: as perdas colisionais e as perdas radiativas. Pode-se então definir  $K$  como sendo a soma de  $K_{col}$  com  $K_{rad}$ .

$$K = K_{col} + K_{rad} \quad (3.5)$$

Em que,  $K_{col}$ , corresponde ao *kerma* de colisão que resulta dos electrões libertados que perdem a sua energia ionizando os átomos do meio, e  $K_{rad}$ , é o *kerma* radiativo resultante dos electrões libertados que perdem a sua energia por emissão de *bremsstrahlung* [40].

### 3.1.3 Dose absorvida

A dose absorvida é uma grandeza física essencial em protecção radiológica. É uma grandeza mensurável e que tem em consideração o campo de radiação e todas as interacções que ocorrem no interior e exterior do volume considerado. O procedimento para avaliação de doses adoptado pela ICRP usa a dose média absorvida em órgãos e tecidos, à qual se aplicam factores de ponderação adequados. Estes factores têm em conta as diferenças nas eficácias biológicas dos diferentes tipos de radiação e também as diferenças nas sensibilidades dos órgãos e tecidos aos efeitos estocásticos. [39]

A dose absorvida é definida como a quantidade de energia depositada pela radiação ionizante num meio por unidade de massa [40], de acordo com a expressão seguinte:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (3.6)$$

Onde  $d\bar{\epsilon}$  é a energia média cedida pela radiação ao meio de massa  $dm$ . A unidade SI da dose absorvida é  $J\ kg^{-1}$  que é equivalente a *gray* (*Gy*).

## 3.2 Grandezas de protecção

Quando se aplica na prática a grandeza Dose Absorvida, normalmente, esta é calculada num largo volume de tecido, ficando-se com a dose média sobre um tecido ou órgão. Este valor médio da dose absorvida e a soma das doses médias ponderadas para os diferentes órgãos e tecidos constituem as bases da definição das grandezas de protecção. Estas definições baseiam-se na correlação das doses médias num tecido ou órgão com os efeitos estocásticos causados pela radiação. As grandezas de protecção são usadas para estabelecer limites de dose, para que a ocorrência de efeitos estocásticos seja limitada a níveis aceitáveis, e para evitar reacções em tecidos. [39] As grandezas de protecção são a dose equivalente num órgão ou tecido e a dose efectiva.

### 3.2.1 Dose equivalente num órgão ou tecido

A definição das grandezas de protecção baseia-se na dose média absorvida,  $D_{T,R}$ , no volume de um órgão ou tecido específico,  $T$ , devido à radiação do tipo  $R$ . Radiação esta, que, tanto pode incidir sobre o corpo, ou, ser emitida por radionuclídeos que se encontrem no interior deste. A grandeza de protecção dose equivalente num órgão ou tecido,  $H_T$ , é definida por [39]:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (3.7)$$

Onde,  $w_R$ , é o factor de ponderação adequado para a radiação  $R$ . O somatório é feito tendo em conta todos os tipos de radiação envolvidos. Os valores dos factores de ponderação da radiação são definidos tendo em conta o efeito biológico produzido pela radiação em questão. Os valores de  $w_R$ , recomendados pela ICRP, podem ser consultados no Anexo A.1.

### 3.2.2 Dose efectiva

Uma vez que, diferentes tecidos do corpo respondem de maneira diferente a diferentes tipos de radiação, a probabilidade de efeitos estocásticos resultantes de uma dada dose equivalente irá, geralmente, depender do tipo de tecido ou órgão irradiado [37]. Torna-se assim necessário definir uma grandeza que relacione a contribuição das doses equivalentes nos diferentes tecidos com o efeito estocástico total.

A dose efectiva,  $E$ , é definida como uma soma ponderada das doses equivalente de tecido de acordo com a seguinte expressão[39]:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (3.8)$$

Onde,  $w_T$ , é o factor de ponderação para um determinado tecido ou órgão  $T$ . Estes valores de  $w_T$  são escolhidos para representar a contribuição individual de órgãos e tecidos para o dano total devido a efeitos estocásticos resultantes de uma irradiação. A unidade da dose efectiva é  $J\ kg^{-1}$ , também designada por sievert (Sv). Os valores de  $w_T$  recomendados pela ICRP podem ser consultados no Anexo A.2 [39].

### 3.3 Grandezas operacionais

As grandezas de protecção, dose equivalente no tecido ou órgão e dose efectiva, não são mensuráveis na prática. Assim, as grandezas operacionais são usadas para avaliação da dose efectiva e dose equivalente nos tecidos ou órgãos. Estas grandezas fornecem uma estimativa dos limites superiores para o valor das grandezas de protecção relacionados com uma exposição, ou potencial exposição. Para monitorização de área, são usadas as grandezas de equivalente de dose ambiente,  $H^*(d)$ , e equivalente de dose direcciona,  $H'(d, \Omega)$ . Para monitorização individual, é usado o equivalente de dose individual,  $H_p(d)$  [39].

As grandezas operacionais são mensuráveis, quando se efectuam monitorizações de áreas ou locais de trabalho estas medidas são efectuadas no ar, no entanto, nas monitorizações individuais utilizam-se dosímetros individuais que podem ser de corpo inteiro ou de extremidades[39].

#### 3.3.1 Grandezas operacionais para monitorização de área

As grandezas operacionais para monitorização de área são definidas com base no valor do equivalente de dose num ponto de um fantoma simples. Este fantoma, denominado esfera ICRU, é uma esfera com 30 cm de diâmetro, com uma densidade de  $1\text{ g cm}^{-3}$  composta por um material equivalente a tecido humano [37].

O equivalente de dose ambiente,  $H^*(d)$ , num certo ponto de um campo de radiação, é o equivalente de dose que seria produzido pelo campo expandido e alinhado na esfera ICRU, à profundidade  $d$ , no raio oposto à direcção desse campo. Para radiações fortemente penetrantes, a ICRU recomenda uma profundidade de 10mm, sendo a grandeza expressa por  $H^*(10)$  [37].

O equivalente de dose direcciona,  $H'(d, \Omega)$ , num certo ponto de um campo de radiação, é o equivalente de dose que seria produzido pelo campo expandido na esfera ICRU, à profundidade  $d$ , num raio especificado pela direcção  $\Omega$ . Para radiações pouco penetrantes, utiliza-se uma profundidade,  $d$ , de 0,07 mm, expressando-se a grandeza por  $H'(0.07, \Omega)$  [37].

#### 3.3.2 Grandezas operacionais para monitorização individual

O equivalente de dose individual,  $H_p(d)$ , corresponde ao equivalente de dose no tecido mole, a uma profundidade  $d$ , sob um ponto específico no corpo humano [37]. Este ponto específico é normalmente escolhido tendo em conta o local onde o dosímetro individual é

colocado e também o tipo de irradiação. Na avaliação da dose efectiva é recomendada uma profundidade,  $d$ , de 10 mm. Para a avaliação da dose equivalente na pele, mão e pés é recomendada uma profundidade,  $d$ , de 0,07 mm. Pode ainda ser utilizada uma profundidade  $d=3\text{mm}$  nos casos especiais de monitorização de dose equivalente no cristalino [39].

### 3.4 Recomendações da ICRP

Como dito anteriormente, a ICRP desempenha um papel importante no que diz respeito à protecção Radiológica. Desde a sua criação, a ICRP propõe recomendações e práticas a adoptar na protecção contra as radiações. O principal objectivo das recomendações da ICRP é contribuir para um nível adequado de protecção das pessoas e do ambiente contra os efeitos nocivos da exposição à radiação, sem limitar indevidamente as práticas benéficas que possam advir de tal exposição[39].

A ICRP pretende que todas as suas recomendações sejam aplicadas a todas as fontes de radiação e a todos os indivíduos expostos nos seguintes três tipos de situações de exposição: situações de exposição planeada, de exposição de emergência e de exposição existente. O primeiro tipo diz respeito às situações que envolvem uma exposição deliberada a fontes radioactivas. As situações de exposição de emergência podem ocorrer durante situações de exposição planeada, devido a um acto malicioso ou a qualquer outra situação inesperada e requerem a tomada de medidas urgentes, de modo a evitar ou reduzir consequências indesejáveis. O último tipo de situações de exposição ocorre devido a uma exposição prévia existente, por exemplo, a exposição prolongada após emergências [39].

A ICRP define ainda três categorias de exposição de acordo com a população afectada [39]:

- **Exposição ocupacional** – que diz respeito à exposição a que trabalhadores estão sujeitos devido à actividade profissional que exercem.
- **Exposição de membros do público** – que engloba todas as exposições do público excepto exposições ocupacionais e médicas de paciente.
- **Exposição médica de pacientes** – que contempla as exposições dos pacientes devido a um procedimento médico, quer seja de diagnóstico, interventivo ou terapêutico.

### 3.4.1 Princípios da protecção radiológica

A protecção radiológica baseia-se em três princípios fundamentais: o princípio da justificação, o princípio da optimização e o princípio da limitação de doses. Os dois primeiros princípios estão relacionados com as fontes e aplicam-se a todas as situações de exposição, o terceiro princípio está relacionado com o indivíduo em situações de exposição planeada [39]. Os três princípios podem ser expressos da seguinte forma:

- **Princípio da justificação das práticas:** qualquer decisão que altere a situação de exposição deve trazer mais benefícios do que malefícios para os indivíduos ou para a sociedade.
- **Princípio da optimização:** a probabilidade de incorrer numa exposição, o número de pessoas expostas e as doses individuais devem ser mantidas um nível tão baixo quanto razoavelmente possível (conceito ALARA- "*as low as reasonably achievable*"), tendo em conta os factores económicos e sociais.
- **Princípio da limitação de doses:** a exposição de indivíduos deve ser sujeita a limites de dose, deste modo, as doses totais dos indivíduos provenientes de exposições planeadas não deve exceder os limites recomendados.

### 3.4.2 Limites de dose

Os limites de dose apenas se aplicam a situações de exposição planeada, excluindo a exposição médica de pacientes. Para a exposição ocupacional, o limite é expresso em termos de dose efectiva sendo o limite médio 20 mSv por ano, considerando um período de 5 anos (100 mSv em 5 anos). É ainda imposta a condição que a dose efectiva não poderá exceder os 50 mSv num ano [39].

Para a exposição do público, o limite estabelecido pela ICRP é expresso como uma dose efectiva de 1 mSv num ano. No entanto, em circunstâncias especiais pode ser permitido um valor superior de dose efectiva num único ano, desde que a média sobre um determinado período de 5 anos não exceda 1mSv por ano[39].

Foi necessário estabelecer limites para o cristalino e para a pele, uma vez que estes tecidos não estariam necessariamente protegidos contra reacções tecidulares pelo limite da dose efectiva. Estes limites são fornecidos em termos de dose equivalente[39].

Os limites recomendados pela ICRP estão resumidos na Tabela 3.1:



Tabela 3.1: Limites de dose recomendados pela ICRP, adaptado de [39]

<b>Tipo de Limite</b>	<b>Ocupacional</b>	<b>Público</b>
<b>Dose efectiva</b>	20 mSv por ano, média em períodos definidos de 5 anos	1mSv num ano
<b>Dose equivalente anual:</b>		
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Pele	500 mSv	50 mSv
Mãos e Pés	500 mSv	-

### 3.5 Legislação Portuguesa

Em Portugal a legislação referente à protecção radiológica foi criada segundo a directiva 96/29/EURATOM da União Europeia (UE). Esta directiva, que fixa as normas de segurança para a protecção da saúde dos trabalhadores e membros do público contra os perigos que advêm da exposição à radiação ionizante, foi transposta para a legislação portuguesa através da publicação de vários decretos-lei, cada um referente a determinados aspectos da directiva:

- Decreto-lei nº167/2002: aprova o regime jurídico do licenciamento e do funcionamento das entidades de prestação de serviços na área da protecção contra radiações ionizantes. Aprova igualmente os requisitos técnicos respeitantes às actividades desenvolvidas por essas mesmas entidades [41].
- Decreto-Lei nº180/2002: estabelece as normas relativas à protecção da saúde das pessoas contra os perigos resultantes das radiações ionizantes em exposições radiológicas médicas, bem como os critérios de aceitabilidade que as instalações radiológicas devem observar quanto a planeamento, organização e funcionamento [42].
- Decreto-lei nº 222/2008: fixa as normas de segurança de base relativas à protecção sanitária da população e dos trabalhadores contra os perigos resultantes das radiações ionizantes e estabelece os limites de dose para membros do público[43].

Os limites de dose estabelecidos no Decreto-lei nº 222/2008 são os mesmo que os propostos pelas recomendações da ICRP. Estes limites estão apresentados na Tabela 3.1 do subcapítulo anterior.

O Decreto-Lei referido anteriormente, no seu Artigo 16º, apresenta directivas direccionadas para a protecção das tripulações de voo e passageiros frequentes relativamente à exposição à radiação cósmica. Neste artigo, é aconselhado às empresas de aviação civil que realizem, a cada cinco anos, uma avaliação dos níveis de radiação cósmica recebida pelas tripulações de voo para cada rota que operam. Os resultados desta avaliação devem ser considerados no escalonamento de serviços, que deve procurar manter as exposições dos tripulantes abaixo dos limites anuais para membros do público. Sempre que for estimado que, apesar do escalonamento, podem ser superados os limites de dose para membro do público, esses tripulantes devem ser considerados trabalhadores expostos, aplicando-se a legislação apropriada [43].

# Desenvolvimento do protótipo

### 4.1 O Sistema

De forma a cumprir os objectivos propostos pelo projecto foi idealizado o sistema ARMOR ONE (acrónimo de *Aircraft Environment Monitoring System*). É um sistema criado com o objectivo de monitorizar a radiação no cockpit do avião. O sistema terá que ser capaz de identificar cada membro da tripulação, neste caso, através da utilização de cartões pessoais e, posteriormente, medir e registar os níveis de radiação a que cada um deles está exposto durante um determinado voo. Registo, esse, que é utilizado para criar uma base de dados contendo a dose de radiação a que cada tripulante esteve exposto durante o período de trabalho (exposição ocupacional)

O ARMOR ONE pretende também contemplar, numa versão mais avançada, a integração de um sistema de posicionamento global (GPS), para localizar geograficamente os níveis de dose medidos, bem como, a monitorização de outros parâmetros, como o nível de ruído e a qualidade do ar. Na Figura 4.1 encontra-se representado o diagrama de blocos do sistema ARMOR ONE, na sua versão mais completa.

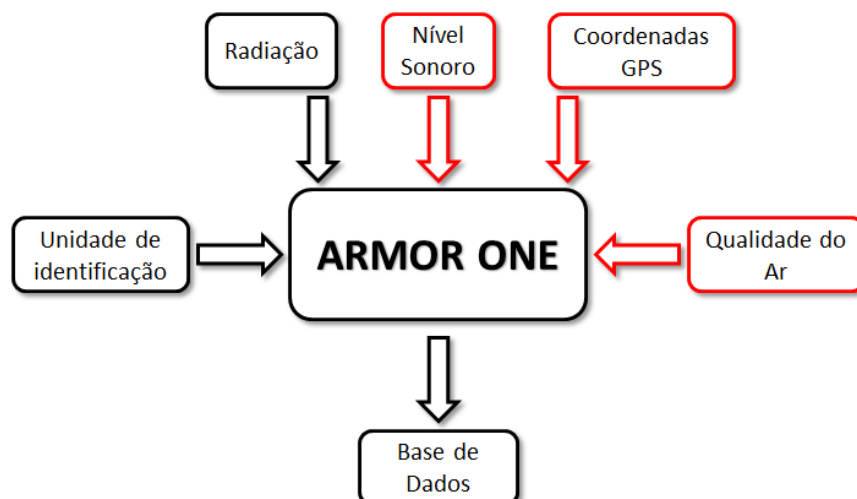


Figura 4.1: Diagrama de blocos do sistema ARMOR ONE (blocos a preto – contemplados no primeiro protótipo; blocos a vermelho – não contemplados no primeiro protótipo)

Na Figura 4.1, os blocos assinalados a vermelho representam as funcionalidades do sistema que não foram incluídas neste primeiro protótipo do ARMOR ONE. No entanto, está previsto que sejam incluídas num futuro protótipo que já se encontra em fase de planeamento.

Este primeiro protótipo é constituído por um detector de radiação, um leitor de cartões de proximidade, uma unidade de processamento e um programa de controlo e de interface com o utilizador.

O *software* de controlo do protótipo foi desenvolvido, nesta primeira fase, em linguagem *LabVIEW* de modo a adquirir de uma forma eficiente os dados provenientes do detector de radiação, gerindo ainda as comunicações do medidor de radiação e do leitor de cartões de identificação com o *tablet* PC.

## 4.2 Descrição dos componentes do protótipo

### 4.2.1 Unidade de Processamento

A unidade de processamento tem como base um *tablet* PC, unidade que executa a aquisição dos dados e serve como interface para o utilizador. Está munida de um ecrã táctil que permite a visualização das informações e interacção sem a necessidade de teclado. Os utilizadores podem, desta forma, monitorizar, em tempo real, os valores de radiação que estão a ser medidos, clicar nas opções que o programa dispõe e escrever alguma nota se necessário.

Optou-se por um *tablet* PC com o sistema operativo *Windows* por forma a facilitar a programação em *LabVIEW*. O *tablet* PC escolhido para integrar o sistema foi o *Viewpad 10* da marca *Viewsonic* (Figura 4.2).



Figura 4.2: *Tablet* PC Viewsonic Viewpad 10 usado no protótipo

As características principais do *tablet* PC escolhido para integrar o protótipo estão sintetizadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características principais do *tablet* PC usado no protótipo

<b><i>Tablet</i> PC</b>	
<b>Marca</b>	Viewsonic
<b>Modelo</b>	Viewpad 10
<b>Dimensões</b>	275mm x 170mm x 14.5mm
<b>Peso</b>	875g
<b>Ecrã / Resolução</b>	Táctil capacitivo de 10,1" 1024x600px
<b>Processador</b>	Intel Pine Trail-M N455 1.66GHz
<b>Memória RAM</b>	1GB DDR3
<b>Memoria Interna</b>	16GB SSD
<b>Comunicações sem fios</b>	wi-fi 802.11b/g/n Bluetooth 2.1
<b>Expansibilidade</b>	microSD (até 16GB)
<b>Interfaces</b>	2x USB2.0; 1x Jack 3,5mm; 1x DC-In Port; 1x Mini VGA
<b>Bateria</b>	Iões de lítio 10,8V / 3200mAh
<b>Autonomia</b>	Aproximadamente 4h
<b>Sistema operativo</b>	<i>Windows 7</i>

De notar, que durante o funcionamento do sistema, a placa wi-fi estará por predefinição desactivada de modo a não causar quaisquer interferências durante o voo.

#### 4.2.2 Leitor de Cartões de Proximidade

Como unidade de identificação escolheu-se uma solução que envolvia a utilização de cartões pessoais. Para que os utilizadores do sistema se pudessem identificar de forma rápida, simples e cómoda optou-se por incluir um leitor de cartões de proximidade do tipo Radio-Frequency IDentification (RFID, Identificação por radiofrequência) (Figura 4.3).

A tecnologia RFID permite a identificação, usando cartões ou *tags* com recurso à transmissão de dados por radiofrequência. Para o protótipo, usou-se um sistema RFID de 125kHz que permite de leitura de cartões a curta distância. Os cartões utilizados (Figura 4.3) são apenas de leitura, sendo que, para identificar um utilizador, basta ler o número de série do *chip* específico para cada cartão. As especificações principais do leitor de cartões usado estão apresentadas na Tabela 4.2.



Figura 4.3: 1 - Leitor de cartões de proximidade Promag PCR300U 2 - cartão de proximidade de 125kHz

Tabela 4.2: Características principais do leitor de cartões de proximidade usado no protótipo

Leitor de cartões de proximidade	
<b>Marca</b>	Promag
<b>Modelo</b>	PCR300U 125 kHz
<b>Interface</b>	USB
<b>Dimensões</b>	65mm x 100mm x 23 mm
<b>Peso</b>	115g

### 4.2.3 Detector de Radiação

Um dos elementos principais do protótipo é o detector de radiação, visto ser o responsável por detectar a radiação a que os tripulantes estão expostos durante o voo. Para o efeito, foi escolhido o contador Geiger GM-10 da *Black Cat Systems* (Figura 4.4).

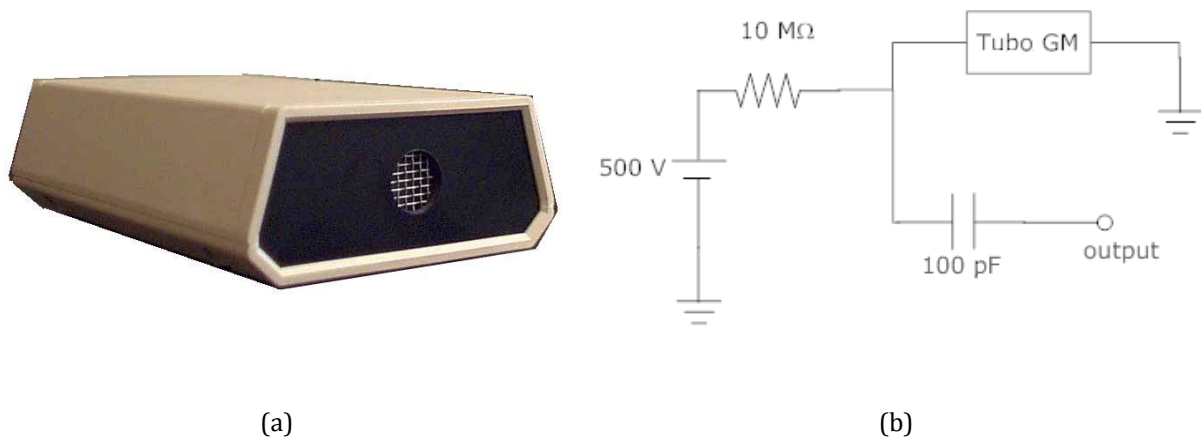


Figura 4.4: (a) Contador Geiger GM-10 da *Black Cat Systems* (b) Circuito típico de um contador Geiger, adaptado de [44]

O GM-10 possui um tubo *Geiger-Müller* (Figura 4.4 (b)) capaz de detectar radiação alfa, beta e gama. Cada vez que uma partícula radioactiva entra pela janela de detecção o computador é informado desse evento. O detector possui uma ligação USB (output na Figura 4.4 (b)) e pode, desta forma, ser conectado ao *tablet PC*. Embora seja conectado via USB, os seus *drivers* para *Windows* são usados para emular uma porta série padrão.

Quando uma partícula é detectada é enviado um pulso para a linha de recepção da porta série que é interpretado no computador como um *byte*. Para transformar o número de partículas detectadas / *bytes* recebidos na taxa de dose equivalente, o fabricante fornece um factor de conversão de uma Contagem Por Minuto (CPM) por 0,00833  $\mu\text{Sv/h}$ . Assim é possível calcular facilmente a dose multiplicado o resultado da conversão pelo tempo de aquisição. O factor de conversão indicado anteriormente tem em consideração uma calibração do detector, utilizando o Cs-137, umas das fontes (radiação gama, emissão de um fóton com 662 keV) mais utilizadas na calibração destes dispositivos [44].

As características do detector de radiação encontram-se resumidas na Tabela 4.3:

Tabela 4.3: Características do detector de radiação usado

Detector Radiação	
<b>Marca</b>	Black Cat Systems
<b>Modelo</b>	GM – 10
<b>Radiação detectada</b>	Alfa – acima dos 3 MeV Beta – acima dos 50 keV Gama/ Raios-X – acima dos 7 keV
<b>Dimensões</b>	108mm x 66mm x 30mm
<b>Peso</b>	102 g
<b>Janela</b>	Mica, 1,75 mg/cm <sup>2</sup> 9,1 mm de diâmetro

#### 4.2.4 Hub USB

Visto que o *tablet* PC apenas possuía duas portas USB foi necessário incluir um *hub* USB no protótipo. O *hub* USB é um dispositivo que expande uma porta USB em múltiplas outras permitindo a conexão de diversos dispositivos.

O *hub* USB escolhido foi um de sete portas com alimentação da marca Sweex (Figura 4.5).



Figura 4.5: Hub USB Sweex de sete portas usado no protótipo

As características mais relevantes estão representadas na Tabela 4.4.



Tabela 4.4: Características do *hub* USB usado

<b>Hub USB</b>	
<b>Marca</b>	Sweex
<b>Nº Modelo</b>	US008
<b>Nº de portas</b>	7
<b>Voltagem de Saída</b>	5V
<b>Corrente de Saída</b>	0,5A
<b>Taxa de transferência de dados</b>	480 Mbps
<b>Dimensões</b>	83mm x 49mm x 22mm

Com este dispositivo, foi possível conectar o detector de radiação e o leitor de cartões às duas portas que ficaram no interior e as restantes portas ficaram disponíveis, no exterior, para possibilitar a utilização de *pen drives USB* para guardar os dados.

## 4.3 Montagem do Protótipo

### 4.3.1 Preparação da caixa

Uma vez reunidos todos os componentes necessários para o desenvolvimento do protótipo iniciou-se a sua construção. O primeiro passo da construção consistiu em adaptar uma caixa metálica disponível no mercado, de modo a acomodar todos os componentes do protótipo. Esta solução mostrou ser a mais barata, em comparação com a criação de uma caixa de origem específica para o sistema. A adaptação consistiu em fazer aberturas para o ecrã, para os botões do *tablet PC*, para as entradas do *hub* USB, para a entrada do cartão de proximidade e para a entrada de alimentação.

A caixa usada para o efeito foi uma caixa de uso geral da marca RS. As suas principais características estão descritas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Características da caixa metálica usada no protótipo

Caixa RS	
<b>Modelo</b>	SA 2U-D2-W2
<b>Material</b>	Aço
<b>Dimensões</b>	87x279x305 mm

Para que o ecrã do *tablet* PC ficasse visível e permitisse a interacção com o utilizador, foi necessário criar uma abertura na caixa metálica com as dimensões do ecrã em questão. Foi também necessário fazer aberturas, para que o utilizador pudesse pressionar os botões de controlo do *tablet* PC. Na Figura 4.6 (a) é possível visualizar a janela que foi feita para o ecrã bem como os três orifícios para os botões do *tablet* PC.

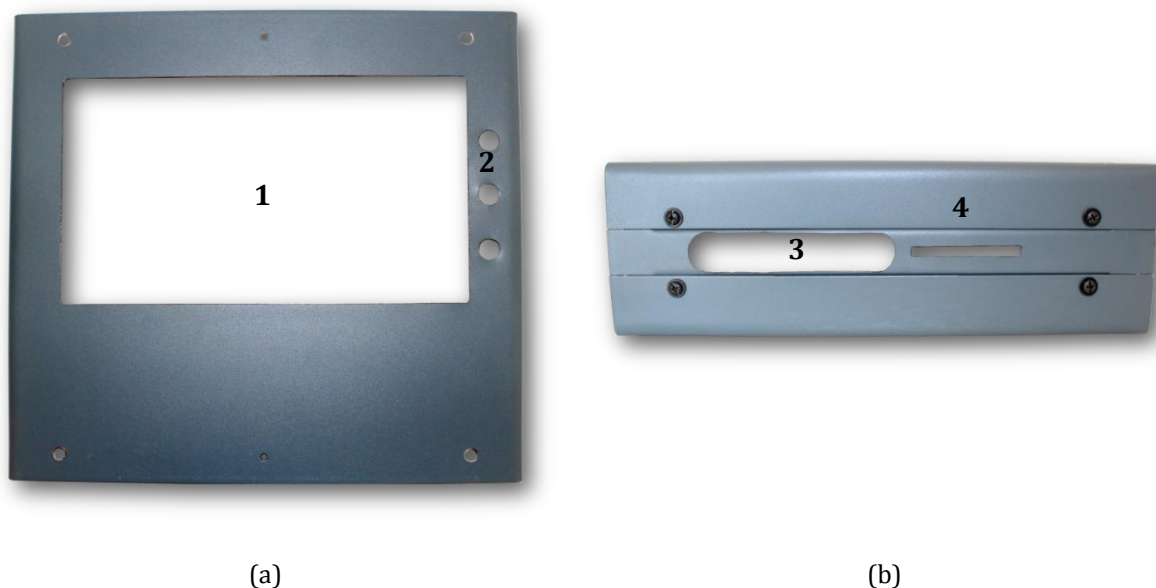


Figura 4.6: Alterações efectuadas: (a) no tampo da caixa (b) na lateral da caixa 1 – abertura para o ecrã do *tablet* PC; 2 – abertura para os botões do *tablet* PC; 3 – abertura para o *hub* USB; 4 – abertura para os cartões de proximidade

Para que os utilizadores pudessem conectar *pen drives* ao dispositivo, cinco das portas USB do *hub* USB tiveram de ficar acessíveis ao exterior, pelo que foi necessário fazer uma abertura para estas portas. Para os cartões de proximidade serem lidos, abriu-se uma ranhura para que estes alcançassem o respectivo leitor. Na Figura 4.6 (b) é possível observar a abertura para as entradas do *hub* USB e a ranhura para os cartões de proximidade que foram feitas no lado esquerdo da caixa.

#### 4.3.2 Instalação dos componentes na caixa

Após se terem feito as aberturas na caixa instalaram-se todos os componentes. Alguns componentes foram aparafusados e outros colados ao fundo da caixa, de maneira a ter a fixação mais robusta possível. Dividiu-se a caixa em duas secções, ficando do lado direito as ligações eléctricas e as fontes de alimentação e do lado esquerdo os componentes do protótipo. Separaram-se essas duas secções com uma chapa de alumínio, que foi cravada ao fundo da caixa. Na Figura 4.7 pode visualizar-se a disposição dos componentes no interior da caixa.

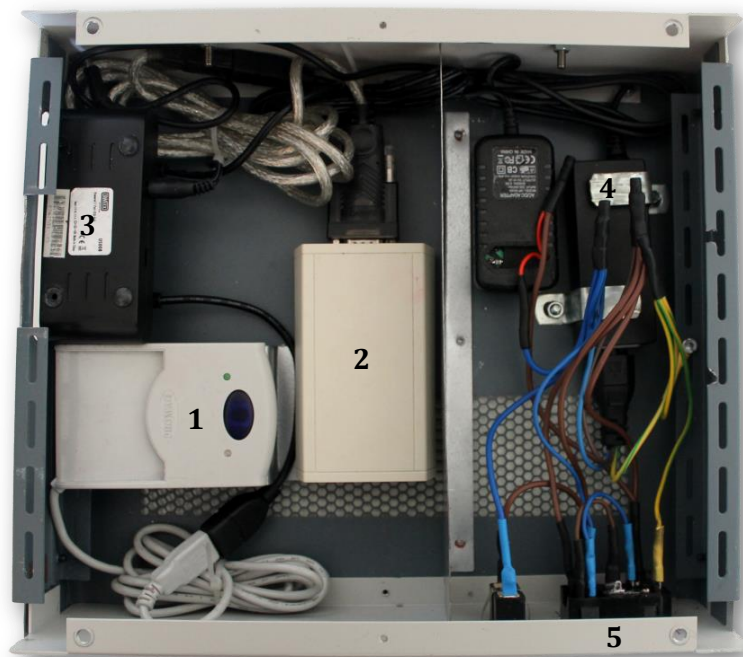


Figura 4.7: Vista interior do protótipo: 1 – leitor de cartões, 2 – detector de radiação, 3 – *hub* USB, 4 – fontes de alimentação, 5 – entrada de alimentação.

#### 4.3.3 Alimentação do Sistema

Na face inferior do protótipo, encontramos os componentes relativos à alimentação do sistema. Podemos observar a sua distribuição na Figura 4.8.

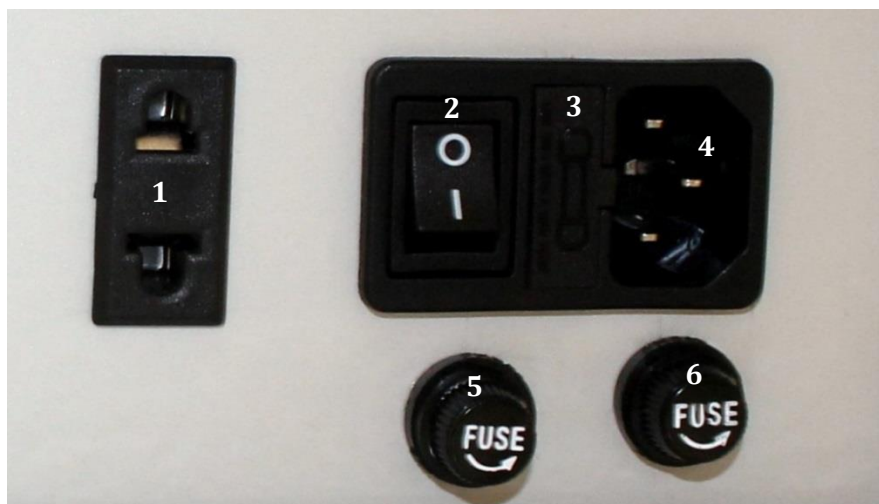


Figura 4.8: Alimentação do sistema 1 – tomada externa; 2 – interruptor geral; 3 – fusível F1; 4 – entrada da alimentação; 5 – fusível F2; 6 – fusível F3

À entrada de alimentação, liga-se um cabo de alimentação que se liga às tomadas convencionais (230V). O interruptor geral controla a alimentação de todos os componentes do sistema. De notar que mesmo com o interruptor geral desligado, o *tablet* PC poderá ser ligado uma vez que este possui bateria. A tomada externa poderá servir para ligar qualquer instrumento extra que necessite de alimentação. O sistema possui ainda três fusíveis que podem ser substituídos a partir do exterior.

No interior da caixa, fez-se a distribuição da tensão pelos componentes do sistema de acordo com o esquema da Figura 4.9.

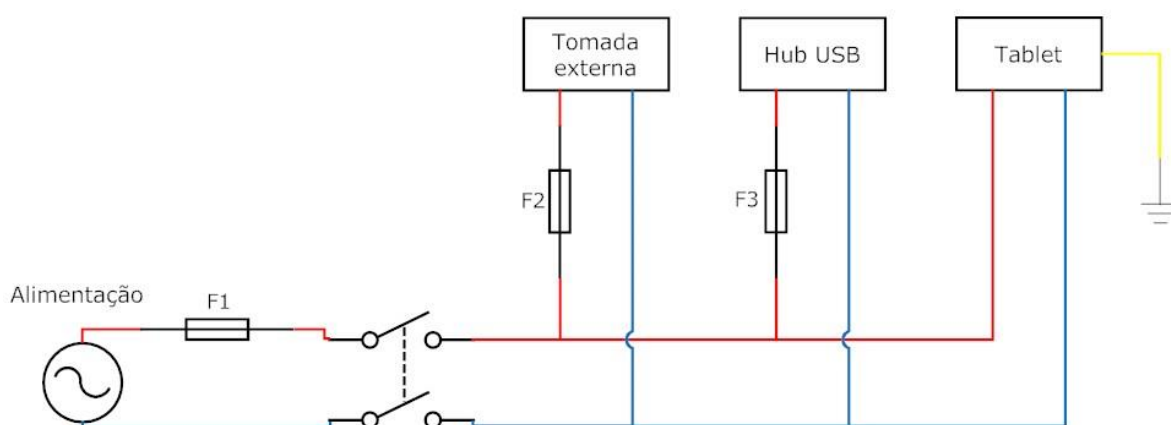


Figura 4.9: Esquema electrónico da alimentação do sistema

As ligações entre os componentes foram feitas com fios eléctricos que foram soldados nas junções e depois cobertos por manga retráctil.

No esquema, podemos observar o posicionamento dos fusíveis que foram colocados para proteger o sistema contra sobrecorrentes que possam eventualmente ocorrer. O fusível F1 protege todo o protótipo, é um fusível geral e tem uma corrente de 2A. O fusível F2 protege a tomada externa e tem uma corrente de 600mA. Relativamente ao fusível F3 este protege o *hub* USB e tem uma corrente de 300mA. O *tablet* PC não necessitou de fusível uma vez que este possui o próprio transformador.

#### 4.4 Aspecto e características técnicas do protótipo

Uma vez que a portabilidade do protótipo foi um dos aspectos mais importantes na sua construção, foram tidas em conta as suas dimensões, de modo a não ocupar um espaço significativo na cabine do avião. Teve-se ainda em consideração o peso e a robustez, de modo a ser facilmente transportado com segurança pelos tripulantes até ao cockpit. Estas características técnicas, bem como a alimentação e autonomia do protótipo, estão apresentadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Características técnicas do primeiro protótipo do sistema ARMOR ONE

Primeiro protótipo ARMOR ONE	
<b>Dimensões</b>	305mm x 279mm x 87mm
<b>Peso</b>	4 kg
<b>Alimentação</b>	110-240 V
<b>Autonomia</b>	3h

Montou-se, ainda, uma pega na caixa, para auxiliar o transporte do sistema por parte dos tripulantes, como se pode ver na Figura 4.10 (b). Os outros componentes externos do protótipo são apresentados na Figura 4.10 (a), onde se pode verificar o aspecto final do primeiro protótipo do sistema ARMOR ONE.



(a)



(b)

Figura 4.10: Primeiro protótipo do sistema ARMOR ONE: (a) vista geral; (b) vista de topo; 1 – *hub* USB; 2 – entrada para cartões de proximidade; 3 – ecrã tátil; 4 – botão de energia do *tablet* PC; 5 – tomada externa; 6 – entrada de alimentação com interruptor geral; 7- pega

## Capítulo 5

# Programa de Controlo

Para se desenvolver o programa de controlo e a respectiva interface gráfica usou-se a linguagem de programação *LabVIEW*. *LabVIEW* é uma linguagem de programação gráfica também apelidada de linguagem G. Este tipo de linguagem de programação é a mais indicada para aquisição e análise de dados, automação e controlo de instrumentos. Devido à sua natureza gráfica, mostra melhoramentos a nível de produtividade quando comparado com outras linguagens de programação [45].

O programa que foi desenvolvido, num computador pessoal e posteriormente instalado no *tablet PC*, é responsável pela comunicação entre o *tablet PC* e os componentes externos (leitor de cartões de proximidade e medidor de radiação). Permite, ainda, identificar os utilizadores e fazer a leitura dos valores de dose de radiação e apresentá-los no ecrã do *tablet PC*. No final do voo, os dados são escritos para um ficheiro e guardados no *tablet PC* ou noutra directoria indicada pelo utilizador.

O elemento de programação em *LabVIEW* (também chamado de *Virtual Instrument* ou simplesmente *VI*) é constituído por um diagrama de blocos, um painel frontal e um ícone. O painel frontal é usado para apresentar os controlos e indicadores para o utilizador e o diagrama de blocos contém o código de programação do *VI*. Um *VI* pode ser usado como interface gráfica para o utilizador ou como uma sub-rotina num programa (*SubVI*) [45].

Este capítulo está dividido em dois subcapítulos, um relativo ao diagrama de blocos e outro relativo à interface gráfica. No primeiro subcapítulo, serão focados os segmentos de código considerados mais importantes e, no segundo, serão explicadas de forma detalhada as funcionalidades da interface gráfica desenvolvida.

## 5.1 Diagrama de blocos

### 5.1.1 Comunicação

Tanto o leitor de cartões como o detector de radiação foram ligados ao *tablet* PC via porta USB e foram conectados às portas do *hub* USB que se encontravam internamente. Embora sejam conectados via USB, os seus *drivers* para *Windows* são usados para emular uma porta série padrão. Desta forma, em *LabVIEW*, estes dois componentes são reconhecidos como componentes com uma porta série.

A comunicação série em *LabVIEW* é controlada pela função “*VISA*”. Esta função é responsável pela comunicação entre o *LabVIEW* e os instrumentos periféricos. Para se efectuar esta comunicação com sucesso é necessário que a porta seja aberta com uma determinada configuração. Para o efeito, usaram-se as configurações fornecidas pelos fabricantes. Para se inicializar a porta de série com as configurações pretendidas usou-se a função “*VISA Configure Serial Port*”. Na Figura 5.1 (a) podem-se visualizar os parâmetros de configuração do medidor de radiação e os do leitor de cartões de proximidade na Figura 5.1 (b).



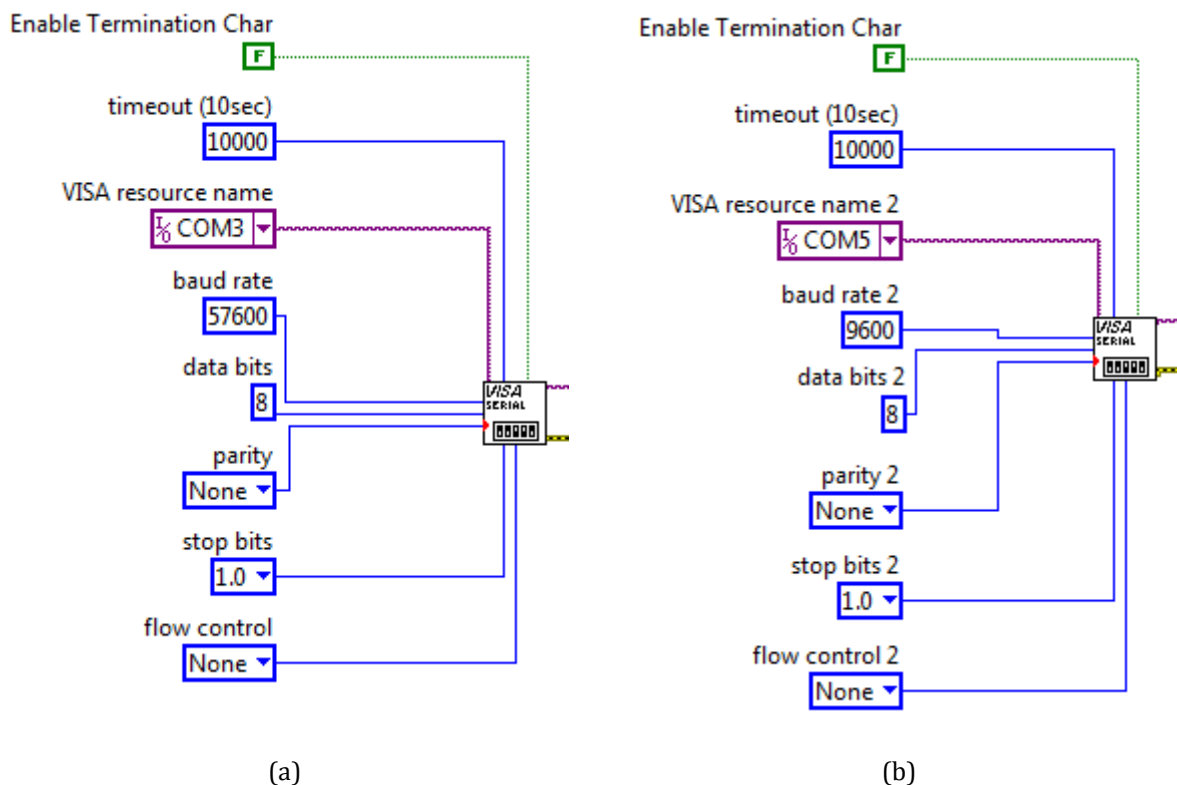


Figura 5.1: Programa de controlo; Configuração da porta série (a) Medidor de radiação (b) Leitor de cartões de proximidade

O “VISA resource name” é o nome da porta de série que está atribuída ao dispositivo. Para o medidor de radiação é a porta “COM3” e para o leitor de cartões de proximidade a porta “COM 5” do tablet PC.

A “baud rate” é a velocidade a que a informação é transferida entre os dispositivos conectados pela porta série. Na comunicação série, uma vez que usa um sistema de codificação binária, a “baud rate” corresponde ao número máximo de *bits* que conseguem ser transferidos na referida comunicação. A “baud rate” configurada para o leitor de cartões de proximidade foi de 9600 bps (bits por segundo) enquanto para o medidor de radiação foi de 57600 bps.

Na comunicação série, os *bits* transferidos incluem o “start bit”, os “data bits”, o “parity bit” (caso seja usado) e os “stop bits”. Em ambos os casos definiram-se 8 *bits* de dados. O “parity bit” pode ser usado para detectar erros nos dados transferidos, mas, em nenhuma das comunicações foi incluído este *bit*. O “stop bit” é usado para indicar o final da transmissão dos dados e escolheu-se apenas um *stop bit*.

O “*flow control*” define o tipo de controlo usado pelo mecanismo de transferência. Ao escolher-se a opção “*none*”, o mecanismo de transferência não usa qualquer controlo do fluxo de dados. Assim, assume-se que o tamanho do *buffer* em ambos os lados da ligação é grande o suficiente para armazenar todos os dados transferidos.

Em *LabVIEW* as funções responsáveis pela escrita e leitura da porta série são a função “*VISA Write*” e “*VISA Read*”, respectivamente. No programa desenvolvido só foi usada a função de leitura, uma vez que não é necessário enviar quaisquer informações para a porta série, apenas ler as informações dos cartões de proximidade e relativas à radiação.

### 5.1.2 Identificação

A identificação dos utilizadores é feita com recurso aos cartões de identificação. Ao se introduzir cartão na ranhura, o sistema irá fazer o reconhecimento do utilizador e possibilitar a utilização das funcionalidades do programa. O registo dos utilizadores identificados é guardado em conjunto com o registo da radiação detectada no ficheiro de registo do programa. Foi implementado código de programação para identificar os utilizadores do sistema e restringir a utilização do programa a utilizadores conhecidos, como se pode ver na Figura 5.2.

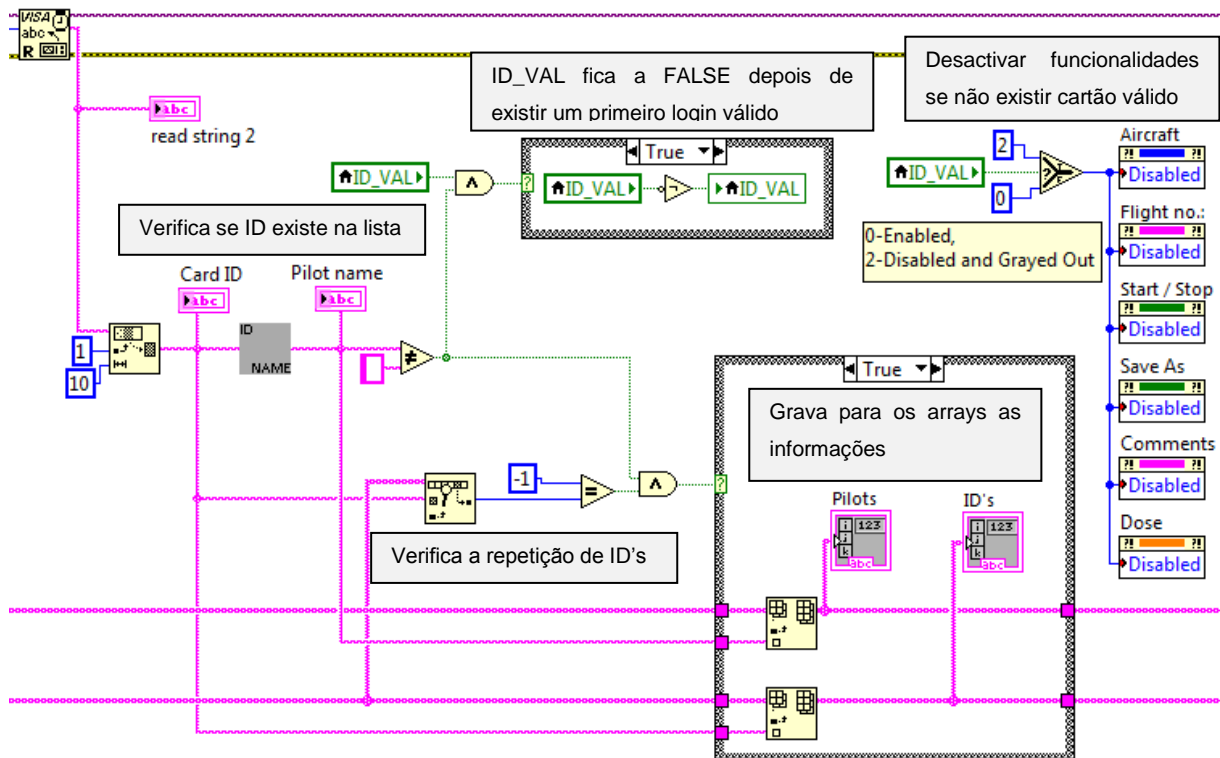


Figura 5.2: Programa de controlo; Segmento de programação do leitor de cartões

Para verificar se algum cartão foi inserido num determinado momento, foi necessário criar um ciclo, com um período suficientemente baixo para que o utilizador não note um atraso no aparecimento da informação no ecrã, e suficientemente alto para que não seja gasto demasiado tempo de processamento. Após alguns testes verificou-se que um período de 100 milissegundos seria adequado para as necessidades do programa. Para se lerem as informações enviadas pelo leitor de cartões de proximidade através da porta série usou-se a função “*VISA Read*”.

De acordo com o fabricante, quando o cartão é introduzido na ranhura o leitor envia uma *string* para a porta série com os caracteres, “02h ## 0Dh 0Ah”, onde “##” corresponde ao ID do cartão (ver Anexo B). Os cartões usados possuem um ID com dez caracteres. Depois da *string* enviada ser lida, o fragmento da *string* que contém o ID do cartão é seleccionado com recurso à função “*String Subset*”.

Foi criado um *SubVI* apelidado de “*ID – NAME*” que, recebendo um ID de cartão devolve o nome do utilizador correspondente. Este *SubVI* procura o ID numa lista de utilizadores registados e devolve uma *string* com o nome do utilizador. Isto caso esse ID esteja na referida lista, caso contrário devolve uma *string* vazia. O diagrama de blocos deste *SubVI* pode ser consultado no Apêndice C.1.

Caso o cartão introduzido devolva um nome válido e se o ID não existir no *array* “*ID’s*” este nome é gravado no *array* “*Pilots*” e o ID é gravado no *array* “*ID’s*”. Se as duas condições não forem contempladas em simultâneo não são feitas nenhuma alteração nos *arrays*. Com este controlo evita-se a repetição dos nomes caso o utilizador passe o cartão mais que uma vez. Os nomes presentes no *array* “*Pilots*” são apresentados na interface gráfica, enquanto os valores do *array* “*ID’s*” são apenas para controlo.

Quando se inicia o programa de controlo, as suas funcionalidades estão bloqueadas, sendo desbloqueadas quando se introduz um cartão válido. Como cartão válido entende-se um cartão em que o seu ID conste na lista de IDs permitidos. Desta forma, assegura-se que apenas utilizadores credenciados possam usar o sistema. Para se fazer este controlo existe a variável “*ID\_VAL*” que é inicializada com o valor booleano *TRUE* e a partir do momento em que se passa um cartão válido esta passa a *FALSE* e o seu valor nunca mais é alterado. Quando “*ID\_VAL*” é *FALSE* as funcionalidades do programa ficam disponíveis.

### 5.1.3 Botão “Start/Stop”

O botão “Start/Stop” é responsável por iniciar a aquisição dos dados da radiação e depois por terminar do programa. Após se introduzir um cartão válido este fica disponível para ser pressionado. O código de programação relativo a este botão está apresentado na Figura 5.3.

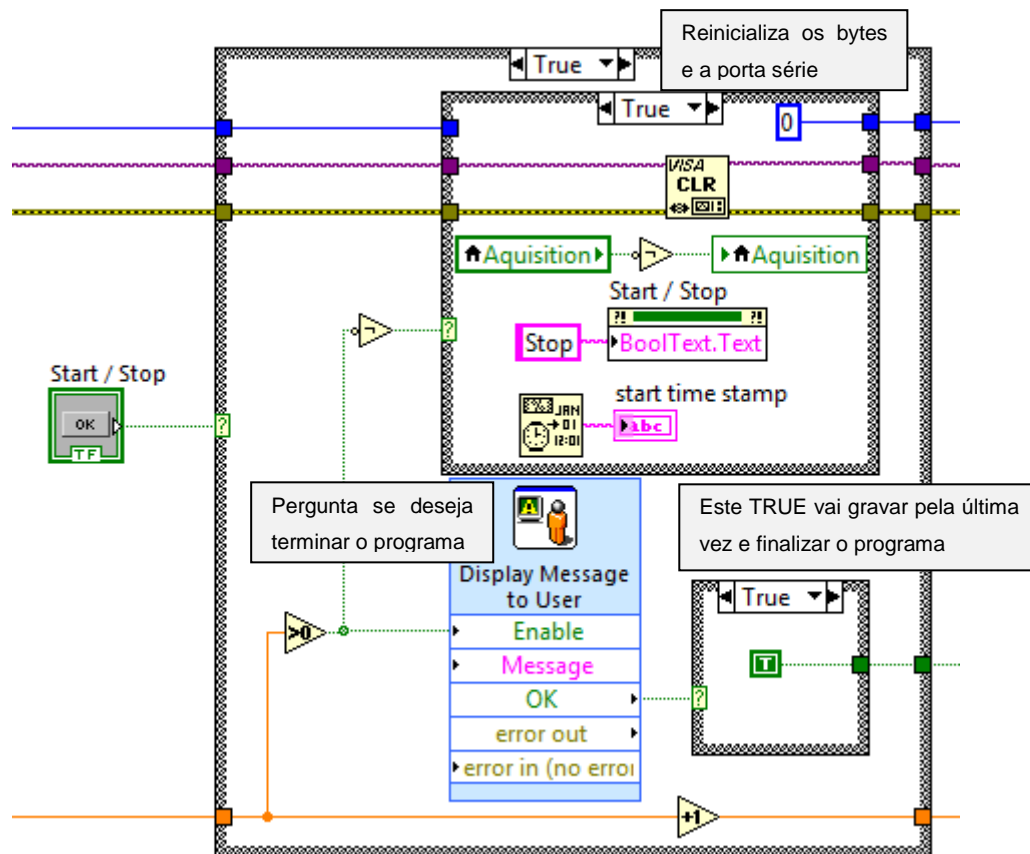


Figura 5.3: Programa de controle; Segmento de programação do botão “Start/Stop”

Quando o botão “Start” é pressionado pela primeira vez, são executados uma série de comandos: os *buffers* do medidor de radiação são limpos usando a função “VISA CLR”; o número de bytes contado é inicializado a zero para que as medições da radiação não sejam afetadas por informação que esteja na porta de série aquando do início da aquisição; a variável “Aquisition”, que no início do programa tem o valor booleano *FALSE*, é negada passando a *TRUE* e desta forma inicia-se aquisição dos dados do medidor de radiação; o nome do botão passa de “Start” para “Stop” sendo alterada com recurso ao “Property Node”; a hora e data de início são gravadas para a variável “start time stamp”. A diferenciação da primeira vez em que é pressionado o botão para as restantes é feita usando uma variável numérica que é inicializada a zero e cada vez que o botão é pressionado esta é incrementada.

Ao se pressionar o botão “Stop” é apresentada uma mensagem que pergunta ao utilizador se quer mesmo terminar o programa. Esta mensagem é apresentada usando a função do LabVIEW “Display Message to User”. Ao se escolher a opção “Cancel” o programa continua a sua execução normalmente. Caso se escolha “OK” é gerada uma variável booleana TRUE que irá ser responsável por encerrar o programa.

#### 5.1.4 Botão “Save As...”

O programa grava, por predefinição, os registos do voo numa determinada directoria do tablet PC mas o utilizador com o botão “Save As” pode escolher outra directoria para a gravação, como por exemplo, uma *pen drive* USB. A programação do botão “Save As” pode ser consultada na Figura 5.4.

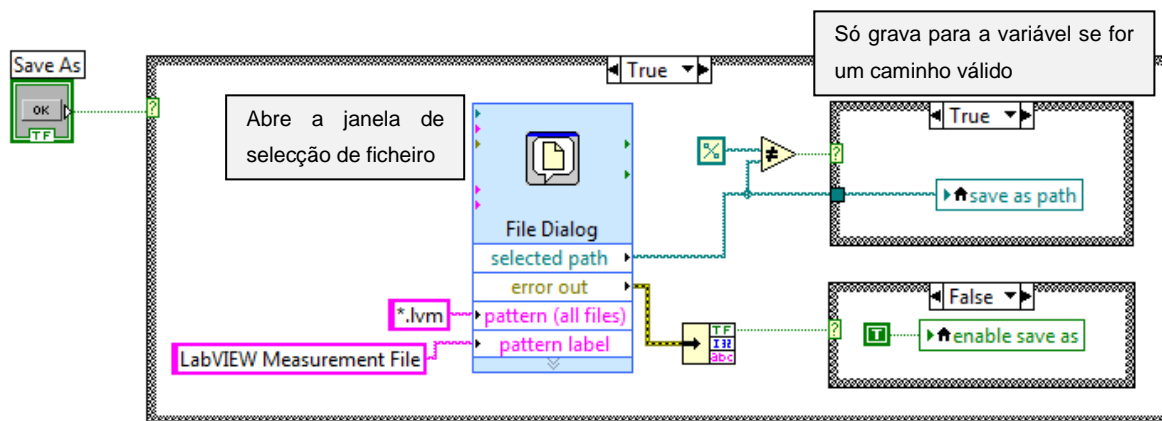


Figura 5.4: Programa de controlo; Segmento de programação do botão “Save As”

Ao se pressionar o botão “Save As”, surge uma janela para seleccionar a localização onde se pretende gravar o ficheiro do registo dos dados e o respectivo nome do ficheiro, para tal usou-se a função “File Dialog” do LabVIEW. Esta função devolve o caminho completo do ficheiro que se pretende, sendo este caminho guardado na variável “save as path” caso o caminho seja válido. Se a função “File Dialog” for executada sem erros, indicando que foi escolhido um caminho de gravação com êxito, a variável “enable save as” fica com o valor booleano TRUE. As variáveis “save as path” e “enable save as” serão usadas posteriormente no segmento de gravação dos dados.

### 5.1.5 Medição da Radiação

Depois de se pressionar o botão “*Start*” o programa inicia a medição da radiação presente no cockpit ao longo do voo. O programa apresenta um gráfico com a taxa de dose equivalente na interface com o utilizador e vai armazenando esses dados para posteriormente escrevê-los para o ficheiro de registo de dados (Pode ser consultado um exemplo deste ficheiro no Apêndice C.2). É também apresentado um indicador com a dose total medida até ao momento. A programação desenvolvida para tal está apresentada na Figura 5.5, o segmento apresentado na figura é executado quando a variável “*Aquisition*” for *TRUE*.

De acordo com o fabricante, ao contar-se o número de *bytes* recebidos por minuto, obtemos as Contagens Por Minuto (CPM). Para tal, cada vez que são recebidos *bytes* na porta série relativa ao medidor de radiação, estes são somados ao valor numérico “*bytes read*” anterior, que é inicializado com o valor zero. Com a função “*Elapsed Time*” podemos saber quando passou um minuto e contabilizar as CPM. Este valor numérico é depois convertido para uma *string* e armazenado num *array*. O valor de CPM é convertido para  $\mu\text{Sv/h}$  usando o factor de conversão fornecido pelo fabricante (0,00833) e apresentado para utilizador num gráfico. Este valor da taxa de dose equivalente é também convertido para *string* e armazenado num *array*.

É também criado mais um *array* com a data e hora das medições (*Time Stamp*). Depois estes três *arrays* são concatenados num só *array* e guardado na variável “*Radiation array*” que vai ser usada posteriormente para salvar os dados.

A função “*Elapsed Time 5*” está configurada para contabilizar intervalos de tempo de 15 segundos, desta forma o valor de Dose apresentado na interface gráfica é actualizado a cada 15 segundos. Como o valor de conversão da taxa de dose é dado em CPM para  $\mu\text{Sv/hora}$ , primeiro multiplicando o número de contagens nos 15 segundos por 4 (para se obter uma contagem em unidades de CPM), sendo que de seguida é multiplicado pelo factor de conversão. Com uma simples divisão por 3600 s/hora e multiplicando pelo tempo decorrido (15 segundos), obtém-se um valor de dose em  $\mu\text{Sv}$ , que pode ser somado sucessivamente de modo a calcular a dose total em cada viagem, como se pode observar na parte inferior do diagrama de blocos da Figura 5.5.

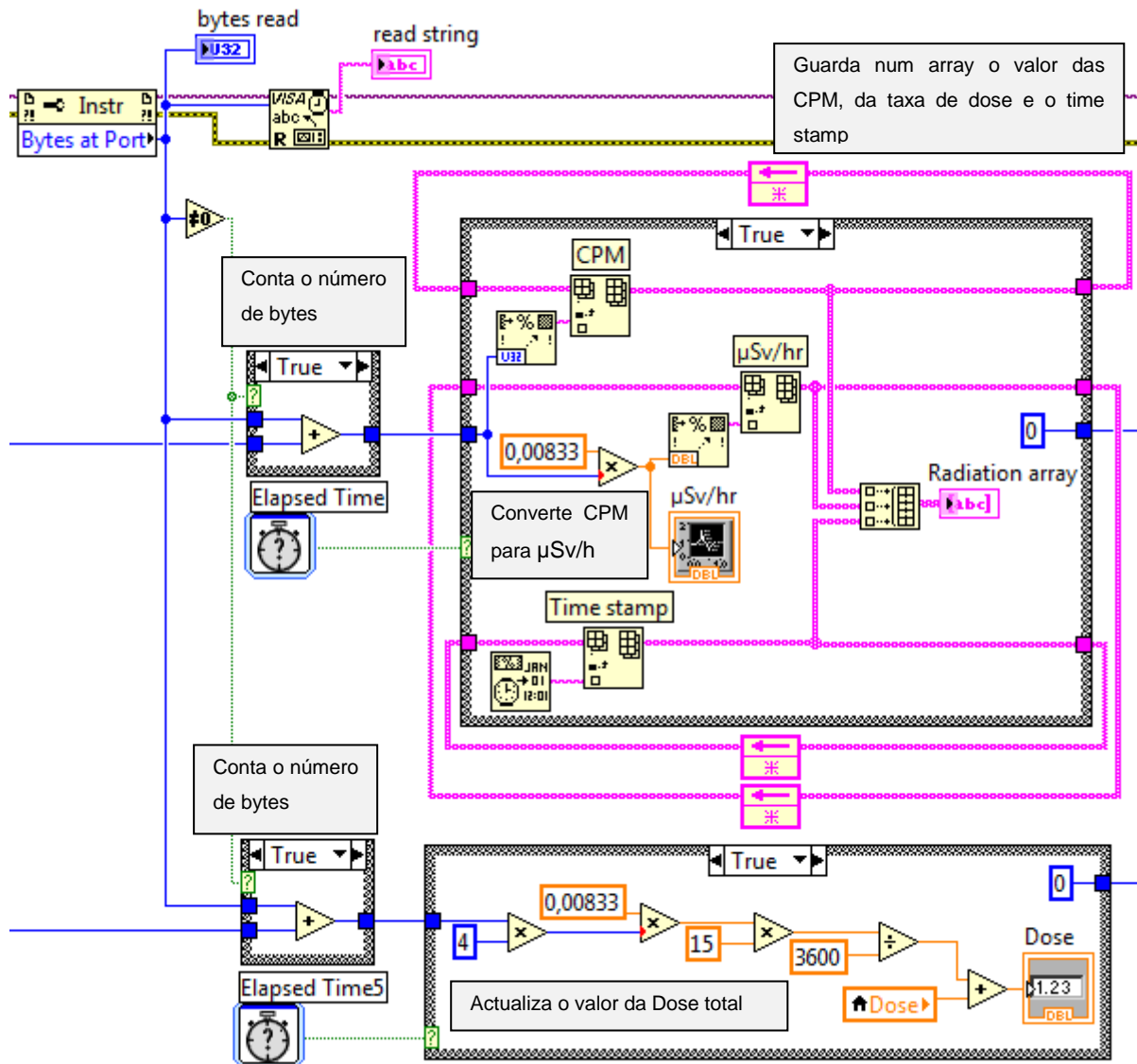


Figura 5.5: Programa de controlo; Segmento de programação do medidor de radiação

### 5.1.6 Gravação dos dados

Uma das funcionalidades importantes do programa desenvolvido é a gravação dos dados num ficheiro. Desta forma, cria-se com um registo digital da radiação a que os pilotos estiveram expostos em determinado voo. O ficheiro de registo dos dados é guardado, por predefinição, no *tablet PC* mas o utilizador pode guardar uma cópia desse ficheiro numa unidade de armazenamento externa, como por exemplo numa *pen drive*, se seleccionar essa opção. O ficheiro é gerado no formato “*LabVIEW Measurement File*” (.lvm) que é um formato de ficheiro texto usado para as medições em *LabVIEW*. Este formato de ficheiro pode ser facilmente importado para um programa de folha de cálculo, como o *Microsoft Excel*, ou para um editor de

texto, como o *Notepad*. O código de programação desenvolvido para esta funcionalidade pode ser consultado na Figura 5.6.

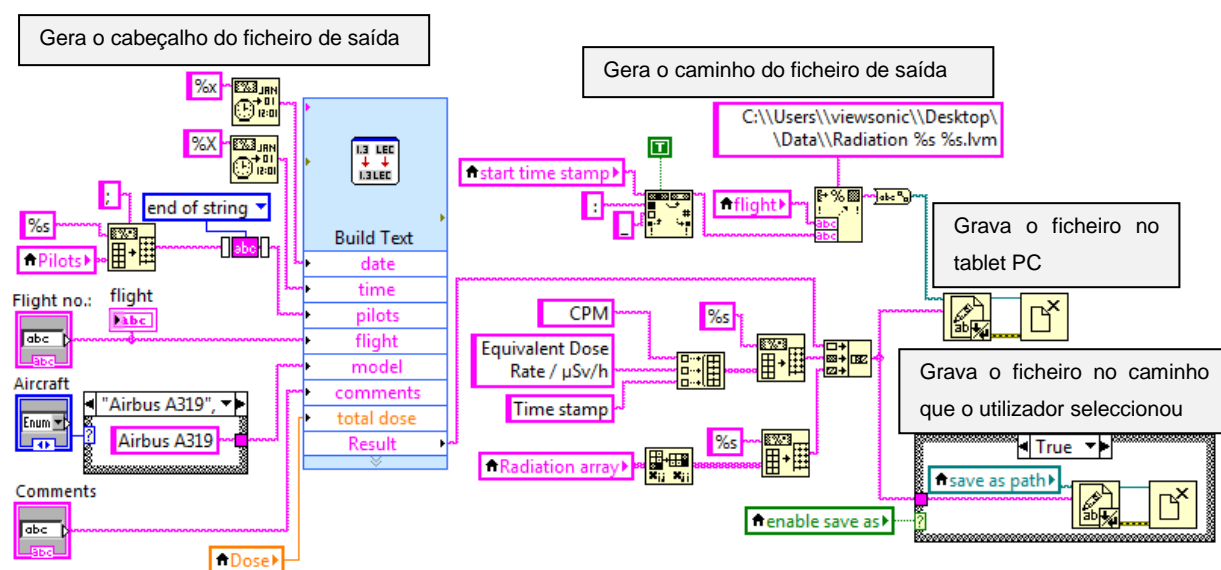


Figura 5.6: Programa de controlo; Segmento de programação da gravação dos dados

Este segmento de programação encontra-se dentro de um ciclo condicional *if* que só é executado se a variável “*Aquisition*” for *TRUE*, ou seja, depois de se pressionar o botão “*Start*”. O ciclo é executado minuto a minuto e quando se pressiona para terminar o programa. Desta forma, mesmo que aconteça alguma irregularidade antes do final do programa, já foi criado o ficheiro com a radiação medida até ao momento.

Para se criar o cabeçalho do ficheiro de registo usou-se a função “*Build Text*” que cria um *string* resultante da combinação de texto e *inputs* parametrizados. O cabeçalho criado inclui: a data e hora a que foi feita a gravação, a lista dos pilotos que estiveram no voo, o número do voo, o modelo do avião, os comentários inseridos pelo utilizador e o valor da dose total. Um exemplo de cabeçalho criado pode ser consultado no Apêndice C.2.

A *string* resultante do cabeçalho é depois concatenada com os dados da radiação medidos e com os títulos das colunas dos dados. Esta *string* está formatada para ser escrita na forma de tabela. Para colocar as *strings* neste formato usou-se a função “*Array To Spreadsheet String*”, que converte os *arrays* numa tabela em formato de *string*, com tabulações a separar os elementos das colunas e o carácter EOL (*End of Line*) a separar as linhas.

Para se escrever a *string* resultante da concatenação de todos os elementos para o ficheiro usou-se a função “*Write to Text File*”. O nome dos ficheiros guardados no *tablet PC* inclui a data e



hora a que se iniciou o registo dos dados e o número do voo, de modo a identificar facilmente o ficheiro e para evitar sobreposições de ficheiros já existentes.

Caso o utilizador tenha escolhido outra directoria para gravação dos dados, através da opção “Save As”, a variável “enable save as” fica a TRUE, possibilitando a gravação do ficheiro na directoria que o utilizador seleccionou.

Um exemplo do ficheiro gerado pelo programa pode ser consultado no Apêndice C.2.

## 5.2 Interface gráfica

A interface gráfica tem grande importância uma vez que é através dela que o utilizador interage com o programa. Foi desenvolvida uma interface tendo em conta a perspectiva do utilizador, criando-se assim um ambiente intuitivo, fácil de manipular e apenas com a informação e funcionalidades necessárias. Uma vez que se trata de um sistema inovador e com perspectivas de ser utilizado a nível global, a interface foi desenvolvida em inglês.

Quando se inicia o programa a interface gráfica apresenta as funcionalidades desactivadas (Figura 5.7) e é pedido ao utilizador que insira um cartão válido.



Figura 5.7: Programa de controlo; Interface gráfica com as funcionalidades desactivadas

A interface apresenta, no canto superior esquerdo, o indicador que irá apresentar o nome dos tripulantes que se identificarem no programa. Na zona superior, ao centro, estão os controlos para introdução de informações relativas ao modelo da aeronave, o número de voo e algum comentário adicional. No canto superior direito, encontra-se o botão “Save As...”. Na parte inferior da interface, encontram-se os indicadores referentes às medições da dose de radiação: do lado esquerdo o gráfico que apresenta a variação da taxa de dose equivalente ao longo do tempo, no centro o valor da dose total e do lado direito o botão “Start/Stop”.

Após a identificação de um utilizador através de um cartão válido, as funcionalidades do programa são activadas e o nome do utilizador é apresentado na lista de pilotos (“Pilots”), como se pode visualizar na Figura 5.8.



Figura 5.8: Programa de controlo; Interface gráfica com as funcionalidades activadas

Clicando no campo “Aircraft”, o utilizador pode seleccionar o modelo da aeronave de entre os vários modelos disponíveis para selecção (Figura 5.9 (a)). O utilizador pode também escrever o número do voo no campo “Flight no.” (Figura 5.9 (b)) e ainda escrever algum comentário relativo ao voo no campo “Comments” (Figura 5.9 (c)).

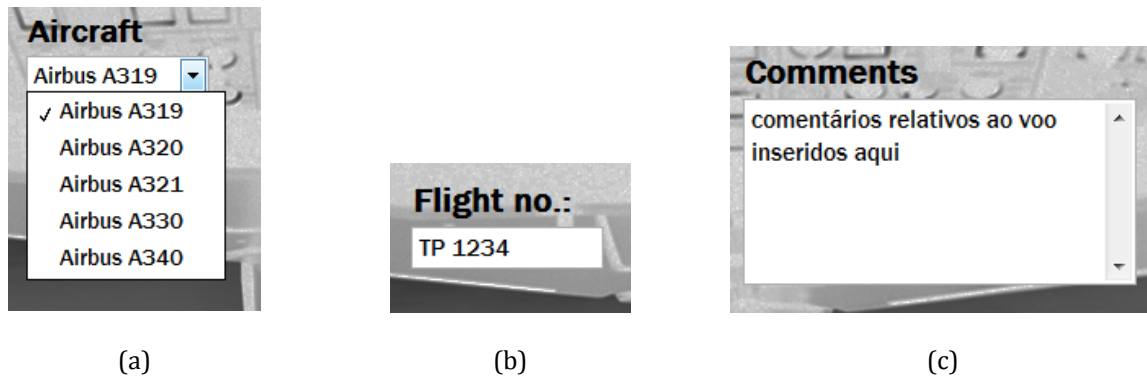


Figura 5.9: Programa de controlo; Informações do voo: (a) Selecção de aeronave (b) Número do voo (c) Comentários

Quando se pressiona o botão “Save As...”, é apresentada uma janela para seleccionar a localização e atribuir um nome ao ficheiro do registo dos dados (Figura 5.10). Com esta opção, o utilizador pode guardar as medições da radiação efectuadas numa *pen drive*, que pode ser conectada a uma das portas USB do dispositivo.

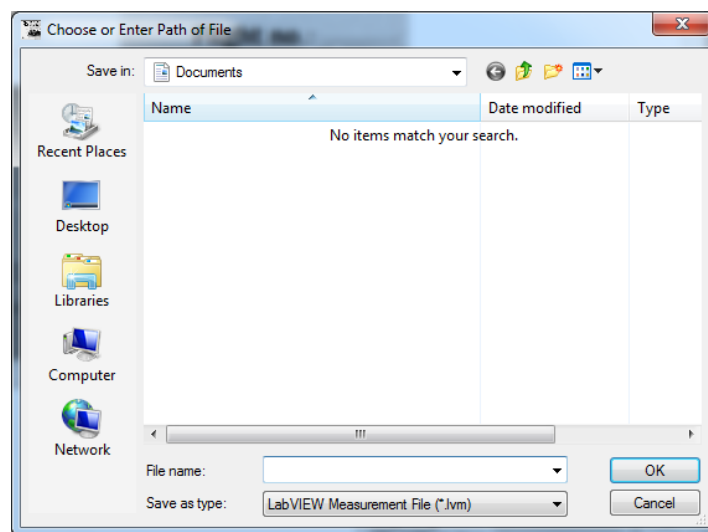
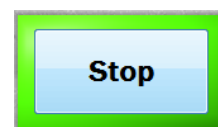


Figura 5.10: Programa de controlo; Janela da opção “Save As...”

Para se iniciar a aquisição dos dados da radiação o utilizador terá que pressionar o botão “Start” (Figura 5.11 (a)). Depois de pressionado, o nome do botão passa a ser “Stop” e o contorno em volta do botão fica verde indicando que a aquisição está activa (Figura 5.11 (b)).



(a)



(b)

Figura 5.11: Programa de controlo; Botão "Start/Stop" (a) Botão Start, aquisição desligada (b) Botão Stop, aquisição ligada

Quando o utilizador pressiona o botão "Stop", é questionado se pretende mesmo terminar o programa (Figura 5.12). Caso o utilizador escolha a opção "OK", o programa termina a sua execução, caso pressione a opção "Cancel" o programa continua a sua aquisição.

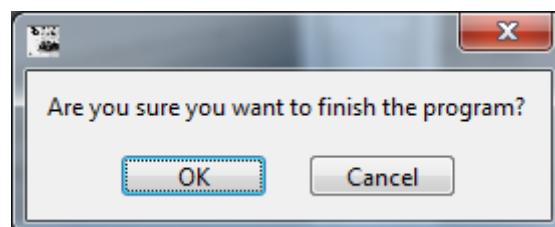


Figura 5.12: Programa de controlo; Mensagem apresentada quando se pressiona o botão "Stop"

Durante a aquisição dos dados, é apresentado no gráfico ( $\mu\text{Sv/hr}$ ) a evolução da taxa de dose ao longo do tempo de viagem decorrido, sendo que o valor é actualizado a cada minuto (Figura 5.13). É também apresentado um indicador com o valor da dose contabilizada até ao momento, cujo valor é actualizado a cada 15 segundos (Figura 5.13).

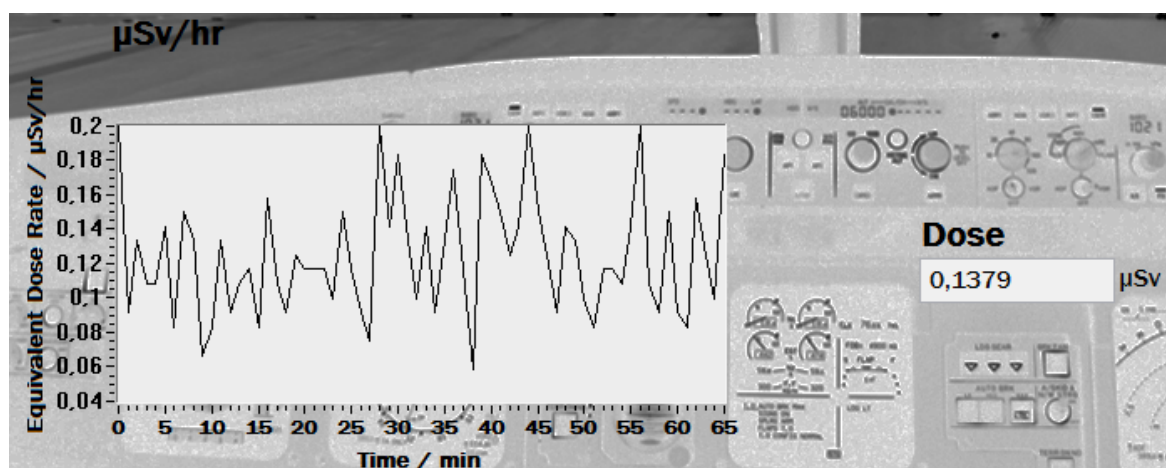


Figura 5.13: Programa de controlo; Gráfico da Taxa de Dose Equivalente e indicador da Dose

## Capítulo 6

# Resultados e Discussão

Para testar o funcionamento e desempenho do protótipo foram efectuados dois testes. No primeiro teste foi verificada a influência da posição do protótipo na detecção da radiação. Utilizando a posição em que detectou um maior nível de detecção, no segundo teste foi avaliada a capacidade do protótipo medir continuamente durante o tempo característico de um voo de longo curso e também a sua capacidade de resposta na presença de intensidades de radiação diferentes.

Os testes foram efectuados com uma fonte radioactiva de  $^{57}\text{Co}$  com uma actividade inicial de 50 mCi, mas que neste momento tem uma actividade de cerca de 20 mCi (Marca: Ritverc,  $^{57}\text{Co}$ , 50 mCi, S/N MCo7.114/62.12).

### 6.1 Influência da posição nas medições

Este teste foi efectuado para verificar a influência que a posição em que se coloca o protótipo poderia ter na medição da radiação. Para tal, efectuou-se um teste em que se colocou o protótipo nas posições descritas e apresentadas na Figura 6.1, durante aproximadamente 30 minutos. Nas posições 2 a 5 da Figura 6.1 o protótipo encontrava-se apoiado num suporte a cerca de 60 cm da referida fonte, na posição 6 colocou-se a cerca de 50 cm, numa posição mais próxima da fonte, como se pode verificar na Figura 6.1.



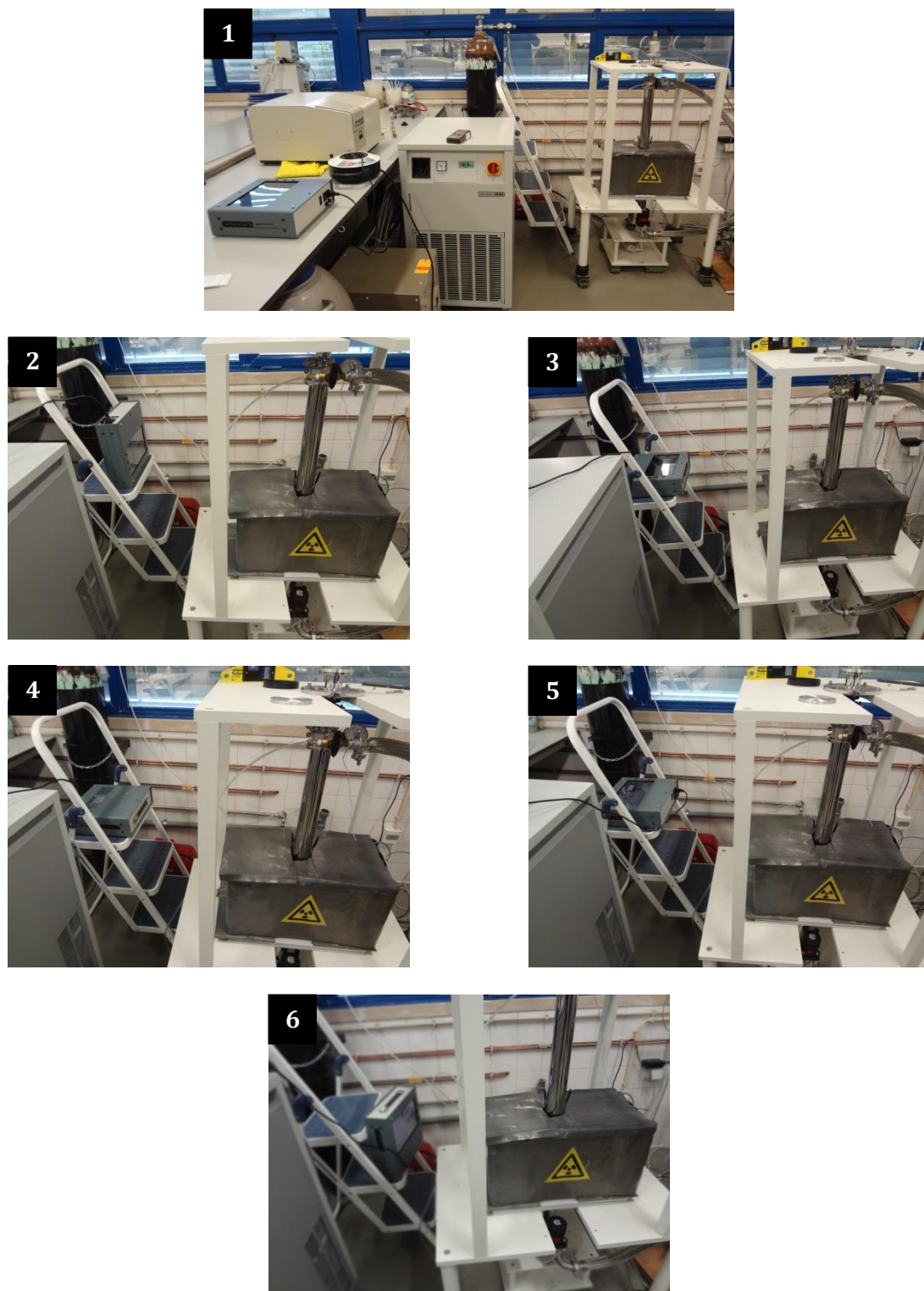


Figura 6.1: Ilustração das posições usadas no teste da influência da posição nas medições: 1 – Afastado da fonte radioactiva; 2 – Na vertical; 3 – Na horizontal, ecrã para cima, tomada para trás; 4 – Na horizontal, ecrã para baixo, tomada para trás; 5 – Na horizontal, ecrã para cima, tomada para a frente; 6 – Na vertical numa posição mais próxima da fonte radioactiva

Os resultados do teste efectuado estão apresentados na Figura 6.2 e as médias dos valores das posições, bem como o Factor de Fano estão apresentados na Tabela 6.1.

O Factor de Fano dá-nos um valor da dispersão da medida de ocorrências com um carácter estocástico (aleatório), ao longo de determinado intervalo de tempo. Este factor ( $F$ ) é definido por:

$$F = \frac{\sigma_W^2}{\mu_W} \quad (6.1)$$

Onde  $\sigma_W^2$  é a variância e  $\mu_W$  a média de um processo aleatório num determinado intervalo de tempo  $W$ . Este factor dá-nos uma medida das flutuações que ocorrem num processo aleatório, que num detector de partículas, como o que é utilizado neste trabalho, irá depender não só da radiação recebida, mas também do facto de existir um tempo morto entre a contagem sucessiva das partículas. Para haver uma contagem é necessário uma tensão mínima no detector, sendo que após a contagem existe uma descarga (havendo diminuição da tensão), por isso no tempo (chamado de tempo morto) em que o detector está a recuperar outra vez a tensão, não é possível detectar outras partículas [46].

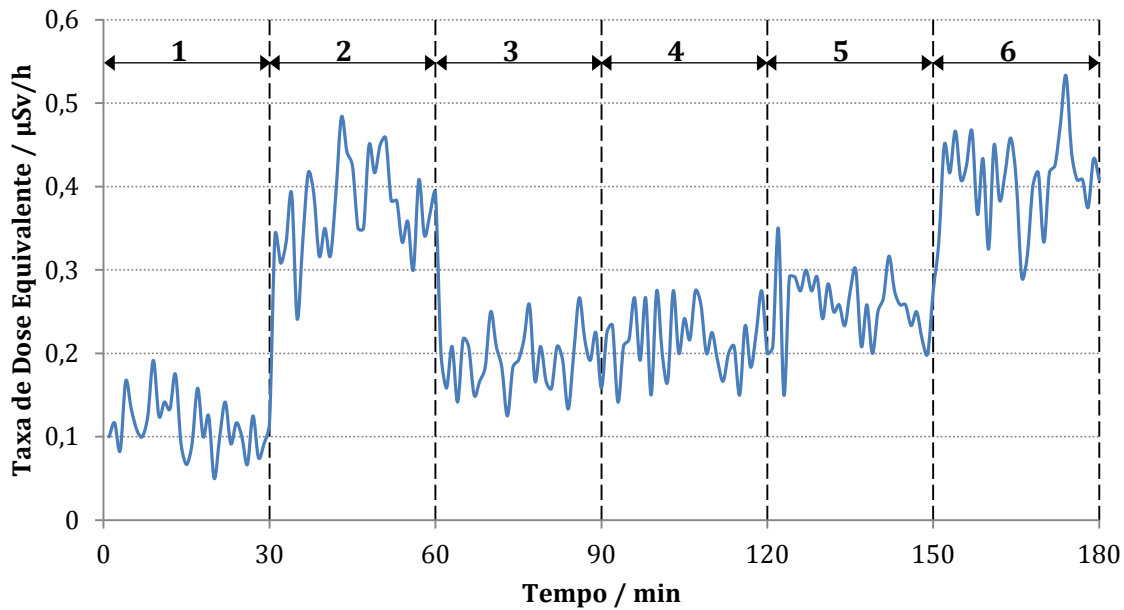


Figura 6.2: Resultados obtidos no teste da variação da posição do protótipo

Tabela 6.1: Média dos valores da taxa de dose equivalente e Factor de Fano para as diferentes posições

Posição	Média da Taxa de Dose Equivalente / $\mu\text{Sv/h}$	Factor de Fano
1	0,114	0,0092
2	0,374	0,0077
3	0,191	0,0062
4	0,216	0,0070
5	0,258	0,0062
6	0,410	0,0065

Como se pode verificar pelos resultados obtidos (Figura 6.2 e Tabela 6.1.), a posição que detectou um maior nível de radiação, apresentando uma taxa de dose equivalente superior, foi a posição vertical (posição 2 e 6 na Figura 6.1). Tal facto pode ser influenciado pela posição da janela de detecção do contador *Geiger* (descrita no capítulo 4.2.3).

Na posição vertical, foi testada a variação dos níveis de radiação em relação à distância, verificando-se um aumento na taxa de dose equivalente com a diminuição da distância entre a fonte e o detector. Este efeito seria de esperar, visto que a distância percorrida pelas partículas é inferior, havendo menor probabilidade de dispersão.

A diferença entre os valores do Factor de Fano nas posições 2 a 6 comparativamente à posição 1 (que não tem uma fonte radioactiva, recebendo por isso apenas a radiação de base) está relacionada com a exposição à fonte radioactiva. As pequenas flutuações entre as posições 2 a 6 estão relacionadas principalmente com a diferença entre a geometria de cada posição, nomeadamente com a posição da janela de detecção em relação à fonte. Esta medida da razão entre a variância e a média apresenta valores próximos de zero, o que implica que este processo estocástico de detecção de partículas não é muito disperso.

Com este teste verificou-se que a posição em se coloca o protótipo em relação a uma fonte pontual tem influência na contabilização da taxa de dose. Tal influência pode não ser semelhante no cockpit do avião durante um voo, uma vez que nessa situação estar-se-ia na presença de radiação isotrópica. Por isso será importante realizar um teste com características semelhantes no cockpit do avião.



## 6.2 Funcionamento e desempenho do protótipo

O segundo teste foi efectuado para comprovar o correcto funcionamento do protótipo durante o tempo aproximado de um voo de longo curso e também a sua capacidade de detectar radiações com diferentes graus de intensidade. Para este teste escolheu-se a posição que no teste anterior apresentou melhor capacidade de detecção.

Para realizar este teste, efectuaram-se medições com o programa desenvolvido durante aproximadamente 8 horas, onde se foram variando as intensidades da radiação. Iniciou-se a aquisição dos dados sem qualquer fonte radioactiva nas proximidades. Depois, passados cerca de 30 minutos, colocou-se a fonte radioactiva a 60cm do protótipo, protegida à frente, por duas folhas de chumbo, como se pode observar na Figura 6.3 (a). Passados aproximadamente 140 minutos retirou-se a primeira folha de chumbo que estava a proteger a fonte, ficando esta apenas protegida por uma folha de chumbo (Figura 6.3 (b)) Decorridos, novamente cerca de 140 minutos retirou-se a última folha de chumbo e mediu-se a taxa de dose equivalente por mais 140 minutos (Figura 6.3 (c)). Nos 40 minutos finais voltou-se a afastar a fonte radioactiva do protótipo.

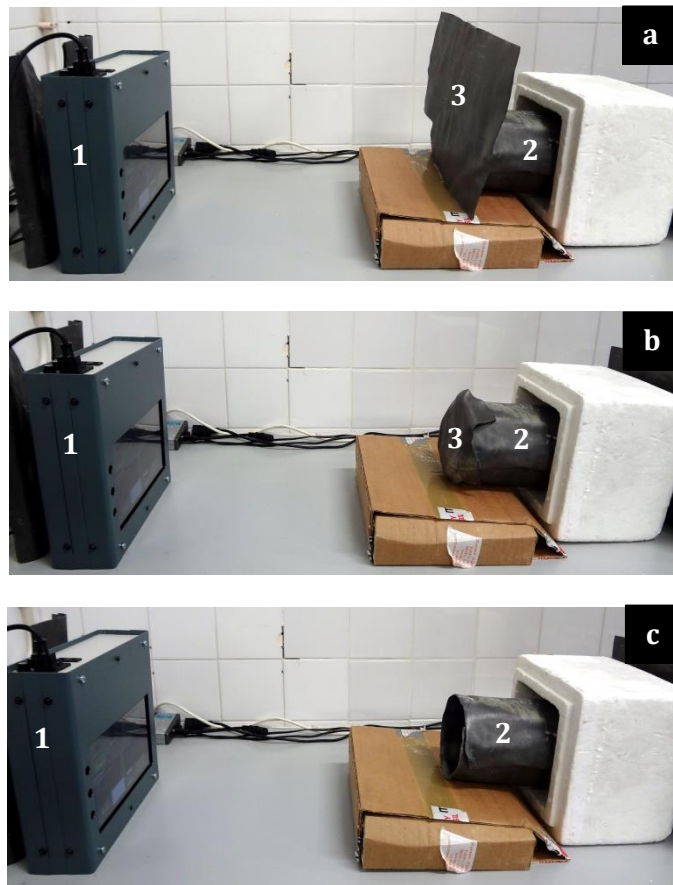


Figura 6.3: Montagem efectuada para o teste de funcionamento do protótipo a) com 2 folhas de chumbo; b) com apenas uma folha de chumbo; c) sem folha de chumbo. 1 – Protótipo; 2 – fonte radioactiva  $^{57}\text{Co}$  protegida por chumbo; 3 – folha de chumbo.

Os resultados das medições efectuadas estão apresentados na Figura 6.4. As secções 1 e 5 correspondem às medições sem qualquer fonte radioactiva. A secção 2 corresponde às medições com a fonte de radiactiva protegida por duas folhas de chumbo, a secção 3 protegida por uma folha de chumbo e a secção 4 sem nenhuma folha de chumbo. Utilizou-se uma escala logarítmica no eixo das ordenadas, na Figura 6.4, para se conseguir uma melhor visualização da diferença entre as secções, uma vez que os valores da taxa de dose eram muito díspares entre si. O pico visível, perto dos 30 minutos, deveu-se ao ajuste inicial da posição da fonte e das folhas de chumbo, pelo que não é significativo para a análise.

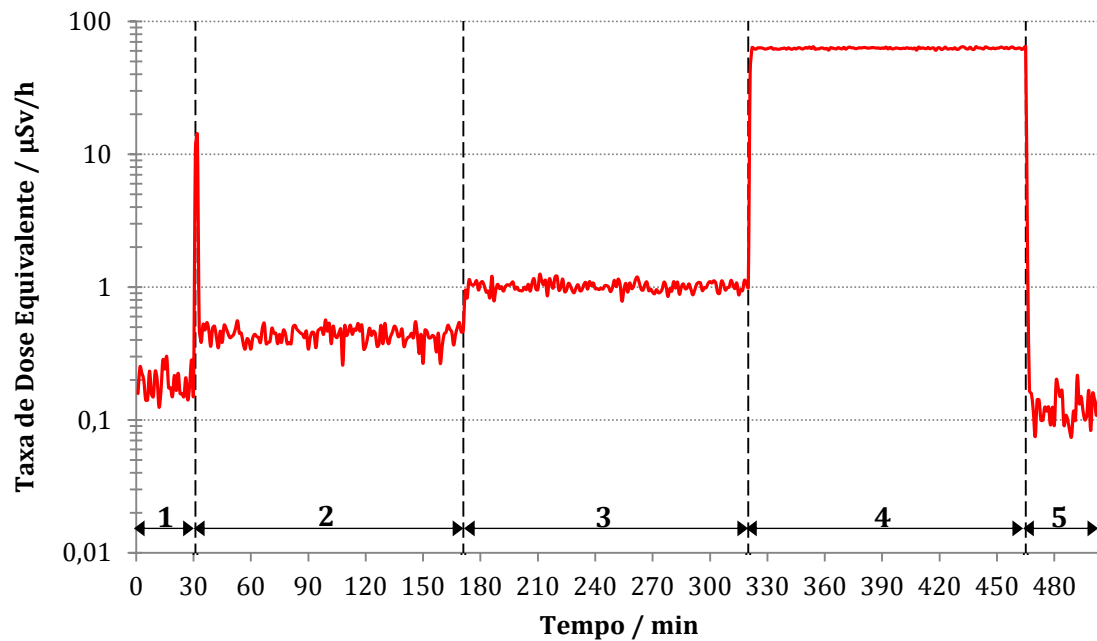


Figura 6.4: Resultados obtidos no teste de funcionamento do protótipo

Como se pode verificar o protótipo foi capaz de efectuar medições durante um período de tempo equivalente a uma viagem de médio/longo curso, mais especificamente, a duração total do teste foi de 505 minutos (8 horas e 25 minutos). Verificou-se ainda que o protótipo foi capaz de diferenciar o efeito da atenuação pelas folhas de chumbo na detecção das partículas, podendo-se então dizer que o protótipo é capaz de detectar radiações com diferentes graus de intensidade.

Mediu-se, ainda, com um outro contador *Geiger* independente, e as contagens medidas foram concordantes com as registadas no ficheiro gerado pelo protótipo, mostrando, deste modo, que o protótipo está a efectuar medidas coerentes.

O decaimento do  $^{57}\text{Co}$  por captura electrónica produz  $^{57}\text{Fe}$  num estado excitado que emite raios gama para chegar ao seu estado fundamental. Desta forma, apenas está a ser contabilizada a componente da radiação gama nestes testes, no entanto, a radiação cósmica tem outras componentes. Esta situação pode ser vista como uma limitação dos testes efectuados, estando, por isso, previsto a realização de testes com outros tipos de fontes, nomeadamente, de radiação alfa e beta, antes da realização de testes no cockpit do avião.



# Conclusões e Perspectivas Futuras

Foi construído um primeiro protótipo do sistema ARMOR ONE com a capacidade de identificar cada membro da tripulação, utilizando cartões pessoais, e medir e registar os níveis de radiação a que cada um deles está exposto durante um determinado voo. Este registo pode ser adicionado a uma base de dados com a informação relativa a cada voo e a cada tripulante, criando-se assim, um registo experimental, de fácil acesso, das doses de radiação a que cada tripulante esteve exposto num determinado período temporal. Foi ainda desenvolvido em *LabVIEW* um programa de controlo, que por sua vez foi exportado para o *tablet* PC que através do seu ecrã táctil torna a utilização da interface gráfica mais acessível e sem a necessidade de utilizar outros periféricos. O protótipo desenvolvido conseguiu, com sucesso, cumprir os objectivos inicialmente estabelecidos.

Os testes realizados e as respectivas análises mostraram que o protótipo idealizado e concretizado demonstrou ser prático, eficaz e o seu uso relevante para o objectivo a que inicialmente se propõe, ou seja, ser capaz de medir a radiação durante o tempo típico de um voo e ser capaz de detectar diferentes níveis de radiação.

Verificou-se ainda que, a posição em que se coloca o protótipo tem influência nas medições realizadas com uma fonte radioactiva pontual. No entanto, prevê-se que tal influência possa não ser semelhante no cockpit do avião durante um voo, uma vez que nessa situação a radiação presente será isotrópica. Desta forma, será relevante realizar testes semelhantes no cockpit do

avião. Tendo em conta os resultados apresentados, considera-se que o protótipo é adequado para futuros estudos no âmbito do projecto.

Este primeiro protótipo aguarda a aprovação, por parte do INAC, para serem realizados os testes no cockpit do avião durante um voo. Pretende-se desta forma validar os dados medidos pelo protótipo, comparando com medições efectuadas anteriormente no âmbito do projecto.

O protótipo criado apresenta robustez e o peso e tamanho adequado para transporte, no entanto, a partir deste primeiro protótipo, pretende-se agora criar um novo equipamento com dimensões e peso mais reduzidos. Este segundo protótipo, encontra-se em fase de planeamento e prevê-se que para além destas melhorias, contemple também outros sensores de monitorização de parâmetros físico-químicos, como nível de ruído ou qualidade do ar. Pretende-se também, que inclua um GPS para que se consiga obter um mapeamento dos níveis de radiação medidos em cada voo. Este futuro protótipo será ainda desenvolvido com recurso a um microcontrolador, para aumentar a fiabilidade das ligações (comparativamente com as ligações USB) e para se conseguir incluir vários sensores.

No futuro, pretende-se que a invenção deste sistema seja protegida com direitos de patente. Neste momento, esse processo encontra-se numa primeira fase de negociação. Pretende-se, ainda, que o sistema final possa vir a ser comercializado e a ser uma ferramenta usada no controlo da exposição à radiação a que os pilotos de aviação estão sujeitos. O panorama ideal seria que, no futuro, os aviões pudessem incluir na instrumentação de bordo o sistema ARMOR ONE.

# Referências Bibliográficas

- [1] Airbus, “Global Market Forecast for 2013-2032,” 2013.
- [2] R. Silva, “Riscos para a saúde pela exposição ocupacional às radiações cósmicas em pilotos de linha aérea,” 2010.
- [3] R. Silva, F. Folgosa, P. Soares, A. S. Pereira, R. Garcia, J. Jesus, P. Tavares, and M. D. R. Gomes, “Occupational cosmic radiation exposure in Portuguese airline pilots : study of a possible correlation with oxidative biological markers,” *Radiation and Environmental Biophysics*, vol. 52, pp. 211–220, 2013.
- [4] M. Bagshaw, “Cosmic radiation in commercial aviation.,” *Travel medicine and infectious disease*, vol. 6, no. 3, pp. 125–7, May 2008.
- [5] G. Morkunas, L. Pilkyte, and D. Ereminas, “Evaluation of exposure to cosmic radiation of flight crews of Lithuanian airlines,” *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, vol. 16, no. 2, pp. 161–167, 2003.
- [6] B. Vekic, J. Planinic, and B. Vukovic, “Measurements of the dose due to cosmic rays in aircraft,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, vol. 562, pp. 517–520, 2006.
- [7] U. J. Schrewe, “Radiation exposure monitoring in civil aircraft,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, vol. 422, pp. 621–625, 1999.
- [8] V. Radolic and B. Vukovic, “Some cosmic radiation dose measurements aboard flights connecting Zagreb Airport,” *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 66, pp. 247–251, 2008.
- [9] B. J. Lewis, P. Tume, L. G. I. Bennett, M. Pierre, A. R. Green, T. Cousins, B. E. Hoffarth, T. A. Jones, and J. R. Brisson, “Cosmic Radiation Exposure on Canadian-Based Commercial Airline Routes,” *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 86, no. 1, pp. 7–24, Oct. 1999.
- [10] P. Beck, “Aircraft Crew Radiation Exposure in Aviation Altitudes During Quiet and Solar Storm Periods,” in *Space Weather*, no. Hess 1912, 2007, pp. 241–267.
- [11] J.-F. Bottollier-Depois, Q. Chau, P. Bouisset, G. Kerlau, L. Plawinski, and L. Lebaron-Jacobs, “Assessing exposure to cosmic radiation during long-haul flights,” *Radiation Research*, vol. 153, pp. 526–32, 2000.
- [12] J. F. Bottollier-Depois, P. Blanchard, I. Clairand, P. Dessarps, N. Fuller, P. Lantos, D. Saint-Lô, and F. Trompier, “An operational approach for aircraft crew dosimetry:

- the SIEVERT system," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 125, no. 1–4, pp. 421–424, Jul. 2007.
- [13] B. J. Lewis, "Aircrew dosimetry using the predictive code for aircrew radiation exposure (PCAIRE)," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 116, no. 1–4, pp. 320–326, Dec. 2005.
  - [14] J. Lillhök, P. Beck, J. F. Bottollier-Depois, M. Latocha, L. Lindborg, H. Roos, J. Roth, H. Schraube, F. Spurny, G. Stehno, F. Tromprier, and F. Wissmann, "A comparison of ambient dose equivalent meters and dose calculations at constant flight conditions," *Radiation Measurements*, vol. 42, no. 3, pp. 323–333, Mar. 2007.
  - [15] "EPCARD-Portal." [Online]. Available: <http://www.helmholtz-muenchen.de/en/epcard-portal/epcard-home/index.html>. [Acedido em Setembro de 2013]
  - [16] "Galactic Radiation Received In Flight - CARI." [Online]. Available: <http://jag.cami.jccbi.gov/cariprofile.asp>. [Acedido em Setembro de 2013]
  - [17] "PCAIRE." [Online]. Available: <http://www.pcaire.com/>. [Acedido em Setembro de 2012]
  - [18] "SIEVERT." [Online]. Available: <http://www.sievert-system.org/WebMasters/en/evaluation.html>. [Acedido em Setembro de 2013]
  - [19] EC, "Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew: Compilation of Measured and Calculated Data," Report Radiation Protection 140 of EURADOS WG 5 European Commission, 2004.
  - [20] F. Spurný, "Exposure of aircrew to cosmic radiation. Calculation and experimental approach," *International Congress Series*, vol. 1225, pp. 121–129, Feb. 2002.
  - [21] I. L. Getley, M. L. Duldig, D. F. Smart, and M. A. Shea, "The applicability of model based aircraft radiation dose estimates," *Advances in Space Research*, vol. 36, pp. 1638–1644, 2005.
  - [22] F. Wissmann, F. Langner, J. Roth, and U. Schrewe, "A mobile TEPC-based system to measure the contributions to  $H^*(10)$  at flight altitudes," *Radiation protection dosimetry*, vol. 110, no. 1–4, pp. 347–9, Jan. 2004.
  - [23] J.-E. Kyllönen, L. Lindborg, and G. Samuelson, "Cosmic Radiation Measurements On-board Aircraft with the Variance Method," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 93, no. 3, pp. 197–205, Feb. 2001.
  - [24] M. K. Lim, "Cosmic rays: are air crew at risk?," *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 59, pp. 428–433, 2002.



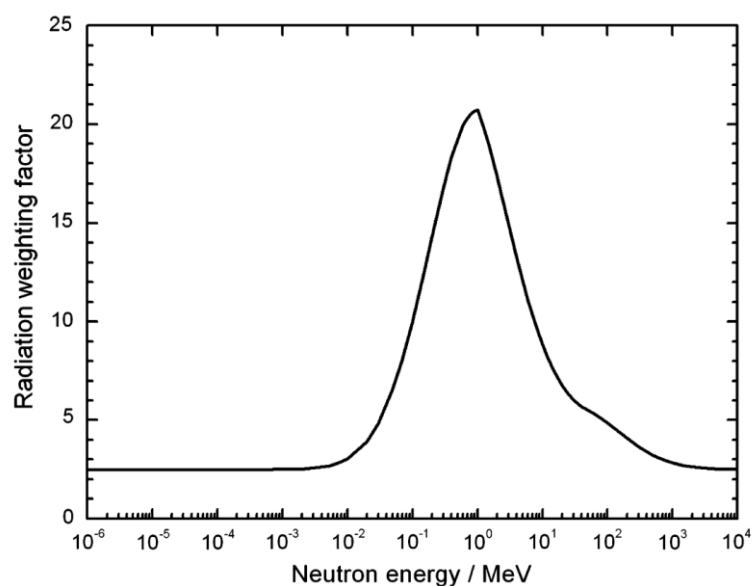
- [25] P. R. Band, N. D. Le, R. Fang, M. Deschamps, a J. Coldman, R. P. Gallagher, and J. Moody, "Cohort study of Air Canada pilots: mortality, cancer incidence, and leukemia risk," *American journal of epidemiology*, vol. 143, no. 2, pp. 137–43, Jan. 1996.
- [26] M. Blettner, B. Grosche, and H. Zeeb, "Occupational cancer risk in pilots and flight attendants: current epidemiological knowledge," *Radiation and Environmental Biophysics*, pp. 75–80, 1998.
- [27] T. Ballard, S. Lagorio, G. De Angelis, and A. Verdecchia, "Cancer incidence and mortality among flight personnel: a meta-analysis," *Aviation, space, and environmental medicine*, vol. 71, no. 3, pp. 216–224, 2000.
- [28] D. Silverman and M. Gendreau, "Medical issues associated with commercial flights," *The Lancet*, vol. 373, no. 9680, pp. 2067–2077, 2009.
- [29] I. Langner, M. Blettner, M. Gundestrup, H. Storm, R. Aspholm, A. Auvinen, E. Pukkala, G. P. Hammer, H. Zeeb, J. Hrafnkelsson, V. Rafnsson, H. Tulinius, G. De Angelis, A. Verdecchia, T. Haldorsen, U. Tveten, H. Eliasch, N. Hammar, and A. Linnarsjo, "Cosmic radiation and cancer mortality among airline pilots: results from a European cohort study ( ESCAPE )," *Radiation and Environmental Biophysics*, vol. 42, pp. 247–256, 2004.
- [30] L. Yousif, M. Blettner, G. P. Hammer, and H. Zeeb, "Testicular cancer risk associated with occupational radiation exposure: a systematic literature review," *Journal of Radiological Protection*, vol. 30, pp. 389–406, 2010.
- [31] H. Zeeb, G. P. Hammer, I. Langner, T. Scha, V. Sabrina, and B. Maria, "Cancer mortality among German aircrew: second follow-up," *Radiation and Environmental Biophysics*, vol. 49, pp. 187–194, 2010.
- [32] E. Pukkala, R. Aspholm, A. Auvinen, H. Eliasch, M. Gundestrup, T. Haldorsen, N. Hammar, J. Hrafnkelsson, P. Kyrrönen, A. Linnarsjö, V. Rafnsson, H. Storm, and U. Tveten, "Incidence of cancer among Nordic airline pilots over five decades: occupational cohort study," *BMJ*, vol. 325, no. 14 September, Sep. 2002.
- [33] V. Rafnsson, J. Hrafnkelsson, and H. Tulinius, "Incidence of cancer among commercial airline pilots," *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 57, pp. 175–179, 2000.
- [34] M. Beyzadeoglu, G. Ozyigit, and C. Ebruli, *Basic radiation oncology*. Springer, 2010.
- [35] E. B. Podgorsak, *Radiation Physics for Medical Physicists*. Springer, 2006.
- [36] EC, "Exposure of aircraft crew to cosmic radiation," Report Radiation Protection 85 of EURADOS WG 11 European Commission, 1996.

- [37] J. E. Turner, *Atoms, Radiation, and Radiation Protection*, 3rd ed. Wiley-VCH, 2007.
- [38] ICRP, "The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," *Annals of the ICRP*, vol. 21, no. 1–3, 1991.
- [39] ICRP, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," *Annals of the ICRP*, vol. 37, no. 2–4, Apr. 2007.
- [40] S. N. Ahmed, *Physics and Engineering of Radiation Detection*, 1st ed. Elsevier, 2007.
- [41] "Decreto-Lei n.º 167/2002", *Diário da República*, I SÉRIE-A, N.º 164, 18 de Julho de 2002
- [42] "Decreto-Lei n.º 180/2002.", *Diário da República*, I SÉRIE-A, N.º 182, 8 de Agosto de 2002 2002.
- [43] "Decreto-Lei n.º 222/2008", *Diário da República*, 1.ª série, n.º 223, 17 de Novembro de 2008 “
- [44] "Black Cat Systems Home Page." [Online]. Available: <http://www.blackcatsystems.com>. [Acedido em Setembro de 2013]
- [45] R. Bitter, T. Mohiuddin, and M. Nawrocki, *LabVIEW: Advanced Programming Techniques*, 2nd ed. CRC Press, 2007.
- [46] G. F. Knoll, *Radiation detection and measurement*, 3rd ed. John Wiley & Sons, 2000.

# Anexo A

## A.1 Factores de ponderação da radiação, $w_R$ , segundo as recomendações da ICRP [39]

Tipo de radiação	Factor de ponderação da radiação, $w_R$
Fotões	1
Electrões e muões	1
Protões	2
Partículas alfa, fragmentos de fissão e iões pesados	20
Neutrões	Uma curva contínua como função da energia dos neutrões (ver figura em baixo)



## A.2 Factores de ponderação tecidual, $w_T$ , segundo as recomendações da ICRP [39]

<b>Tecido</b>	$w_T$	$\sum w_T$
Medula óssea, Cólon, Pulmão, Estômago, Mama, Restantes	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Bexiga, Esófago, Fígado, Tiróide	0,04	0,16
Superfície óssea, Cérebro, Glândulas salivares, Pele	0,01	0,04
	Total	1,00

# Anexo B

## Protocolo de comunicação do leitor de cartões de proximidade

### PCR300x Communication Protocol

#### Specification

Interface	USB Specification 1.1 ( PCR300xU ) RS232 Communication Prot ( PCR300xR )
Communication Parameter	9600 bps ,8,N,1 ( Virtual Serial Port Driver for USB)
Flow control	None
RFID reader	125 KHz ASK modulation ( PCR300Ax ) 13.56 Mhz ISO14443A ( PCR300Mx )
Supply power	Form USB ( PCR300xU ) Form PS2 ( PCR300xR )

#### Operation

1. Insert the card into the slot of the PCR300x

PC ← PCR300x      STX + Card ID + CR + LF

2. Pull the card away the slot of the PCR300x

PC ← PCR300x      ESC

3. Press the button on the PCR300x

PC ← PCR300x      BEL

#### Command Set

1. Error Sound : Beep- Beep- Beep-

PC → PCR300x      A

2. Correct Sound : Beep -----

PC → PCR300x      B

3. Get the name of the Device :

PC → PCR300x      N  
PC ← PCR300x      STX + Device Name + CR

4. Get the version of the firmware :

PC → PCR300x      V  
PC ← PCR300x      STX + Version + CR

5. Reset :

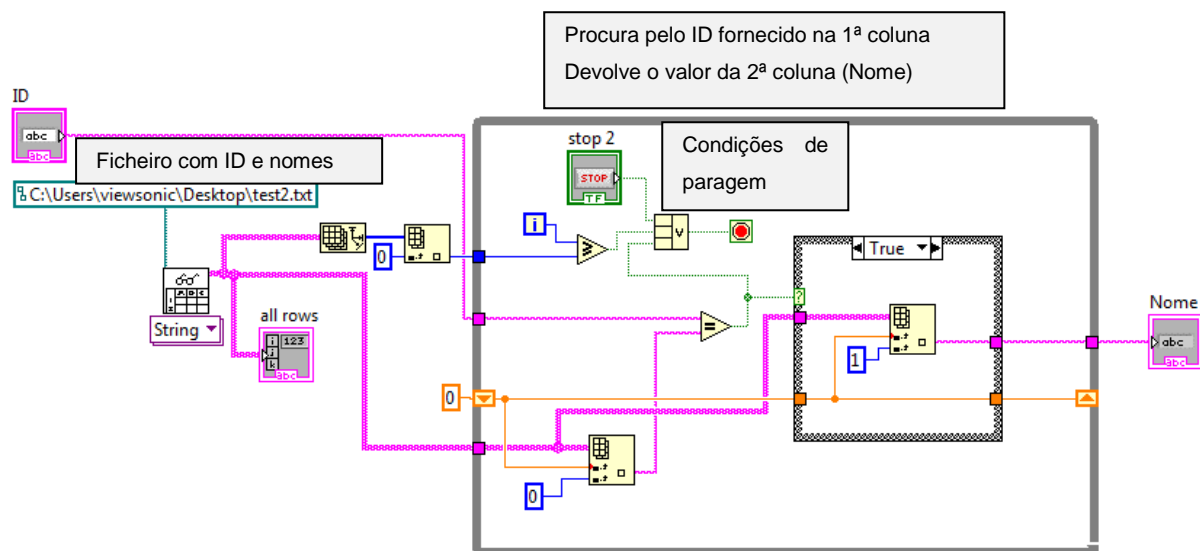
PC → PCR300x      R  
PC ← PCR300x      STX + Card ID + CR      ( The card was lying on the slot )  
                         ESC      ( The card not was lying on the slot )

NOTE	
STX	02h
BEL	07h
LF	0Ah
CR	0Dh
ESC	1Bh
	ASCII



# Apêndice C

## C.1 Segmento de programação do Sub-VI “ID-NAME”



Nota: A lista que contém os ID's e os nomes de utilizadores está guardada num ficheiro .txt em que a primeira coluna corresponde à listagem dos ID's e a segunda os nomes de utilizador correspondentes





## C.2 Exemplo do ficheiro gerado pelo programa desenvolvido

Nome do ficheiro: "Radiation TP 1234 16-04-2013 14\_25\_57.lvm"

\*\*\*ARMOR ONE Radiation Measurements\*\*\*

\*\*\*\*\*

Date: 16-04-2013

Time: 14:44:07

Pilots: Pilot 1; Pilot 2

Flight no.: TP 1234

Airplane Model: Airbus A330

Comments:

Total Dose:0,036236  $\mu$ Sv

\*\*\*\*\*

CPM	Equivalent	Dose Rate / $\mu$ Sv/h	Time stamp
19	0,158270	16-04-2013 14:26:57	
16	0,133280	16-04-2013 14:27:57	
19	0,158270	16-04-2013 14:28:57	
11	0,091630	16-04-2013 14:29:57	
13	0,108290	16-04-2013 14:30:57	
16	0,133280	16-04-2013 14:31:57	
10	0,083300	16-04-2013 14:32:57	
12	0,099960	16-04-2013 14:33:57	
12	0,099960	16-04-2013 14:34:57	
18	0,149940	16-04-2013 14:35:57	
12	0,099960	16-04-2013 14:36:57	
22	0,183260	16-04-2013 14:37:57	
13	0,108290	16-04-2013 14:38:57	
13	0,108290	16-04-2013 14:39:57	
17	0,141610	16-04-2013 14:40:57	
13	0,108290	16-04-2013 14:42:06	
16	0,133280	16-04-2013 14:43:06	